

UNIVERSITÉ DE PARIS VI DE PARIS DE NANTE ET U.E.M. SCIENCES

Avenue du Général De Gaulle - 91020 EVRY-COURCOURONNES Cedex

INSTITUT D'ELEVAGE ET DE MEDECINE VETERINAIRE DES PAYS TROPICAUX

10, rue Pierre Curie - 94704 MAISONS-ALFORT Cedex

DIPLOME D'ETUDES SUPERIEURES SPECIALISEES

PRODUCTIONS ANIMALES ET TECHNOLOGIES AGRO-ALIMENTAIRES

EN REGIONS CHAUDES

RAPPORT DE STAGE

---

*Technologie industrielle du sucre de canne*

*à la*

*Société Sucrière de Haute-Volta*

PAR

Bernard Kaniambori OUBA

Année Universitaire 1984-1985

DIPLOME D'ETUDES SUPERIEURES SPECIALISEES  
PRODUCTIONS ANIMALES ET TECHNOLOGIES AGRO-ALIMENTAIRES  
EN REGIONS CHAUDES

RAPPORT DE STAGE

---

*Technologie industrielle du sucre de canne*

*à la*

*Société Sucrière de Haute-Volta*

par

Bernard Kanlambori OUOBA

-----

Lieu de stage : BANFORA (Haute-Volta)

Organisme d'accueil : SOCIETE SUCRIERE DE HAUTE-VOLTA (SO. SU. H.V.)

Période du stage : 9 août au 9 octobre 1982

Rapport présenté oralement le :        septembre 1983

## AVANT-PROPOS

Je tiens particulièrement à témoigner toute ma reconnaissance au Professeur MOREAU, Responsable du D.E.S.S., pour avoir accepté ma candidature à cette formation dont il a toujours su défendre l'intérêt.

Que Monsieur MOREL, Responsable-adjoint et tout le Personnel enseignant trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

A Monsieur CABOT, Directeur d'Exploitation de la Société Sucrière de Haute-Volta, je traduis ma reconnaissance pour avoir autorisé le déroulement de mon stage.

Je remercie Monsieur GALLANT, Directeur Technique et Monsieur LABORDE, Directeur "Culture", pour m'avoir accueilli dans leurs services.

J'adresse mes remerciements à Monsieur KABORE et à Monsieur TANKOANO respectivement Chef de fabrication et Chef du laboratoire-Usine qui m'ont livré les fruits de leur savoir et de leur expérience.

Mes remerciements vont également à Monsieur SAGNON et Monsieur OUELLEGUEME pour leur collaboration dans la réalisation de ce travail.

Enfin, je remercie tout le Personnel de la Société Sucrière de Haute-Volta pour l'accueil chaleureux dont j'ai été l'objet.

-----

# S O M M A I R E

<u>Chapitres</u>	<u>Pages</u>
I - Introduction.....	1
II - Le complexe agro-sucrier de Banfora - La SO. SU. H. V.....	4
III - Généralités sur la culture de la canne à sucre à la SO. SU. H. V.....	8
IV - Technologie industrielle du sucre de canne.....	13
1 - L'eau.....	13
2 - La cour à cannes.....	21
3 - Extraction.....	24
4 - Epuration.....	36
5 - Evaporation.....	40
6 - Cristallisation.....	45
7 - Malaxage-Turbinage-Transport du sucre.....	50
8 - Raffinerie.....	55
9 - Séchage-Ensachage.....	58
10 - Agglomération.....	60
V - Résultats-Calculs.....	61
VI - Résumé-Conclusions.....	65

Le sucre est une denrée alimentaire très répandue et très consommée de par le monde. Utilisé de diverses manières, le sucre fait désormais partie des régimes alimentaires des peuples du monde entier et extrêmement rares sont les régions où il n'est pas produit ou introduit. Ses propriétés organoleptiques (saveur douce), sa facilité d'usage (soluble dans beaucoup de fluides) expliquent à notre sens, au plan alimentaire, la vulgarisation de ce produit. Entrant dans la composition d'une quantité innombrable de produits alimentaires, le sucre occupe de nos jours une place centrale au sein des industries alimentaires.

Le sucre cristallisé encore appelé saccharose est un produit d'origine végétale et la technique de son extraction dépend de cette matière première. Le sucre est extrait essentiellement de la canne à sucre (régions tropicales ou subtropicales) et de la betterave (régions tempérées). On trouve également du sucre d'érable. Dans le présent travail, nous n'aborderons que le cas du sucre de canne.

#### 1 - Le sucre de canne

Les pays en développement, l'Afrique en particulier, connaissent depuis bientôt deux décennies une vague de projets sucriers (sucre de canne) dont un certain nombre de réalisations (Côte d'Ivoire, Bénin, Haute-Volta, Mali, Sénégal, Cameroun, etc.). En effet, la canne à sucre est une plante de lumière exigeant chaleur et humidité pour sa croissance, mais ayant besoin de froids nocturnes et demandant à être assoiffée lors de sa maturation. La culture de la canne à sucre n'est à proprement parler limitée que par le froid et l'altitude. La majeure partie des régions tropicales et de nombreuses zones subtropicales se prêtent donc à sa culture. Les conditions climatiques de la culture de la canne à sucre sont les suivantes :

##### a) Pluviométrie

1 000 mm/an bien réparties

Quand la pluviométrie dépasse 3 000 mm/an, la culture est mauvaise.

b) Température

A 0° C, le gel entraîne des dégâts sur la plante. A 15-18°, la croissance de la canne à sucre est nulle ; elle commence quand la température atteint 20° C et devient maximale pour des températures de l'ordre de 30 à 40° C.

c) Altitude

La culture de la canne à sucre est possible aux altitudes suivantes :

- jusqu'à 700 m sous les tropiques,
- jusqu'à 1 000-1 200 m sous l'équateur.

Il n'en demeure pas moins qu'au-delà de ces données purement climatiques, l'on doit prendre en considération les problèmes d'ordre agronomique, socio-économique et politique avant d'entreprendre la culture industrielle de la canne à sucre. Toutefois, la création d'un complexe sucrier permet d'atténuer la dépendance économique qui caractérise les rapports entre les pays en voie de développement et les pays industrialisés, dépendance qui pèse lourdement sur la balance commerciale (importations onéreuses) et finalement sur la bourse du consommateur.

2 - Un exemple de sucrerie de canne : la Société Sucrière de Haute-Volta (SO. SU. H. V.)

Dans le cadre de notre formation aux "Technologies agro-alimentaires en régions chaudes", nous avons effectué du 9 août 1982 au 9 octobre 1982 un stage pratique de deux mois à la Société Sucrière de Haute-Volta, stage qui nous a permis de faire connaissance avec une réalisation industrielle agro-alimentaire, en l'occurrence une sucrerie de canne.

L'Usine de la SO. SU. H. V. se présente comme un vaste réseau comprenant des machines, des laboratoires, des ateliers, etc. dont le fonctionnement est assuré et coordonné par un personnel nombreux, dans le but de produire à partir de la canne à sucre, du sucre cristallisé. Ce réseau aussi complexe que vaste, nous l'avons parcouru dans son ensemble afin d'avoir une idée aussi juste que possible du fonctionnement de l'Usine qui représente un tout dont on ne peut dissocier les éléments à sa guise. Nous avons cependant fait ce parcours

avec le souci qui était le nôtre : nous intéresser essentiellement au circuit de fabrication du sucre de canne, c'est-à-dire, à l'ensemble des opérations qui, d'amont en aval, transforme la canne à sucre au stade végétal en sucre cristallisé. Nous intégrerons néanmoins dans ce circuit, une description sommaire du matériel utilisé et nous parlerons des analyses de contrôle-qualité qui jalonnent notre itinéraire et qui sont réalisées dans les laboratoires. Pour faciliter notre tâche et permettre la meilleure compréhension du circuit, nous l'avons subdivisé en étapes successives.

Avant d'emprunter le chemin de l'Usine, nous allons vous faire auparavant une présentation rapide de la Société Sucrière de Haute-Volta qui a permis le déroulement de notre stage, puis nous donnerons des généralités sur la culture de la canne à sucre. Nous parlerons finalement de la technologie industrielle du sucre de canne à la SO. SU. H. V.

### I - SITE

Le complexe agro-sucrier voltaïque occupe les pieds des falaises de Banfora, dans la partie Nord de la Sous-Préfecture de Banfora -département des Hauts-Bassins- située dans le Sud-Ouest du pays (Haute-Volta). Il s'étend sur une superficie d'environ 10 000 km<sup>2</sup>, entre Banfora et le village de Bérégadougou situé à 15 km de Banfora.

C'est une région assez plate, d'altitude 300 m, caractérisée par un climat soudanien. Elle est dominée par une falaise gréseuse (falaise de Banfora) d'une hauteur de 100 m environ. Les sols y sont surtout sableux ou argilo-gravionnaires. Dans les vallées, on rencontre des sols alluvionnaires profonds, des sols argileux et limoneux.

Il y a plusieurs raisons au choix de ce site :

- la **disponibilité** en eau due à la présence de deux fleuves : le Béréga et le Yannon qui dominent entièrement le périmètre sucrier permettant une irrigation par gravitation sans dépense d'énergie ;

- les conditions agro-climatiques favorables à la culture de la canne à sucre ;

- la proximité du chemin de fer qui facilite les opérations de transport (approvisionnement du complexe en intrants et équipements divers, écoulement du sucre).

### II - HISTORIQUE

La culture industrielle de la canne à sucre a été suggérée au cours d'une conférence en Asie. Les sociétés sucrières intéressées se sont mises en rapport avec le gouvernement voltaïque, ce qui a permis la signature d'un protocole d'accord en 1965.

La signature de ce protocole aboutit en novembre 1965 à la création d'une Société d'Etudes Sucrières en Haute-Volta (SE.SU. H. V.). Cette Société Anonyme au capital de 50 millions de francs C. F. A. (1 000 000 FF) a eu comme participants : la Haute-Volta, la Côte d'Ivoire et la SO. M. D. I. A. A. (Société

...

Multinationale de Développement des Industries Agricoles et Alimentaires).

1 - LA SE.SU. H. V.

Créée en 1965, elle a pour tâche de promouvoir en Haute-Volta la culture de la canne à sucre et d'y établir une industrie sucrière. Les études ont débuté à Diarabakoko, localité située à 25 km au Sud de Banfora, puis à Bérégadougou sous le contrôle de missionnaires.

Au cours de ces études, la SE. SU. H. V. a effectué des travaux d'essai et d'expérimentation pendant quatre ans sur de petites surfaces.

C'est le 7 octobre 1968 qu'une convention d'agrément portant création d'une Société Sucrière Voltaïque a été signée. La Société démarra sa tâche par l'implantation d'une agglomérerie de sucre qui a commencé à fonctionner en 1969 dans la ville de Banfora.

Les résultats des travaux de la SE. SU. H. V. estimés satisfaisants, ont permis la création en 1972 du complexe agro-sucrier de Banfora et la disparition de la SE.SU. H. V. au profit de la Société Sucrière de Haute-Volta (SO. SU. H. V.).

En 1973, la convention d'établissement du complexe sucrier est signée, suivie de son inauguration le 28 janvier 1975.

2 - LA SO.SU. H. V.

Aujourd'hui, la Sous-Préfecture de Banfora abrite une Société Sucrière au capital actuel de : - 3 115 500 000 FRS CFA  
= - 62 310 000 FRS Français

avec les mêmes participants :

- Haute-Volta.....	73,89 % du capital
- Côte d'Ivoire.....	16,28 % du capital
- SO. M. D. I. A. A.....	8,91 % du capital
- autres.....	0,92 % du capital

Le financement a eu lieu en deux phases :

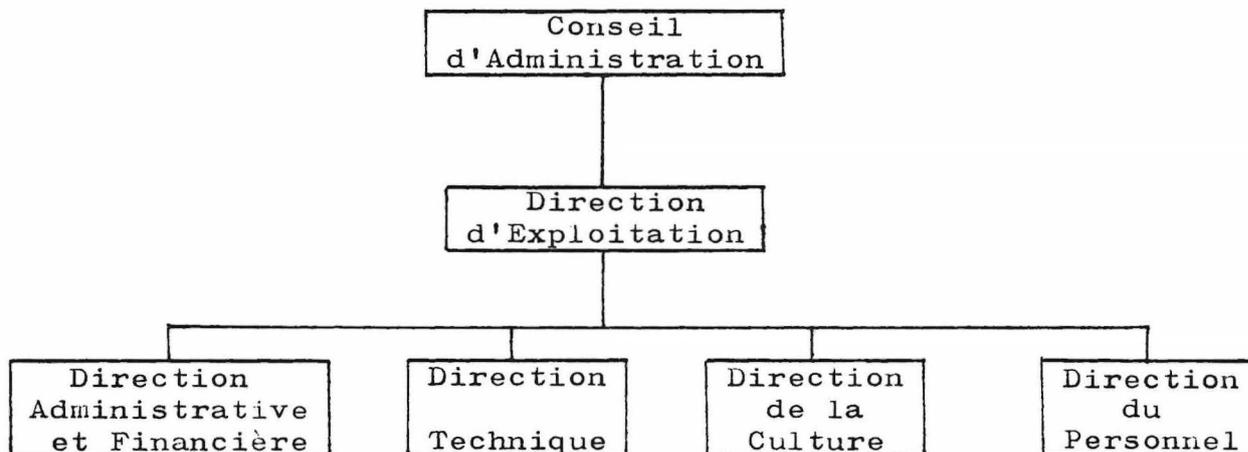
- 1ère phase : création du complexe et installation des structures d'adduction d'eau ;

- 2e phase : extension du complexe sucrier.

### III - ADMINISTRATION

L'organe suprême de la Société est l'Assemblée Générale des actionnaires, organe qui, sur le plan pratique est représenté par des administrateurs dont l'ensemble constitue le Conseil d'Administration (C. A.) avec comme Président le Ministre voltaïque du Commerce et de l'Industrie.

#### A - ORGANIGRAMME SOMMAIRE DE LA SO.SU. HV



Sont également rattachés à la Direction d'Exploitation :

- un Service Commercial,
- un Service de Mécanisation,
- un Service de Santé.

#### B - ORGANISATION DES DIFFERENTES DIRECTIONS

Chaque Direction comprend un certain nombre de Services ou de postes.

##### 1 - Direction Administrative et Financière

Elle comprend les Services suivants :

- un Secrétariat,
- un Service de Comptabilité,
- un Service Informatique,
- un Service d'Approvisionnement,
- un ensemble de Services généraux.

...

2 - Direction de la Culture :

- un Secrétariat,
- un Service d'Exploitation Culture (irrigation, travaux mécaniques, travaux manuels),
- un Service d'Agronomie (phytosanitaire, laboratoire, expérimentation).

3 - Direction du Personnel

Elle comprend :

- a) un poste du personnel (Section d'Embauche, Caisse Nationale de Sécurité Sociale (C. N. S. S.), fichier) ;
- b) un Service d'Activités Culturelles et Sportives (Responsable des Activités Culturelles et Sportives, gardiennage, entretien (WC, cour de l'Usine), Foyer Economat).

4 - Direction Technique

Elle est subdivisée comme suit :

- a) un Service d'Entretien (atelier, chaudronnerie, moulin-chaud, mécanique, énergie (électricité et régulation) ;
- b) un Service Fabrication :
  - un laboratoire usine (analyses),
  - une Section Fabrication (Chefs de quart, cuiseurs),
  - une agglomération.

Au cours de notre stage, nous nous sommes surtout intéressés à la Direction Technique, essentiellement au Service de fabrication, et à la Direction Culture.

Le périmètre sucrier du Complexe Agro-sucrier de Banfora couvre une superficie de 10 000 km<sup>2</sup> dont 3 900 km<sup>2</sup> sont cultivés sous forme de parcelles. La canne à sucre cultivée appartient à l'espèce *Officinalis* (genre *Saccharum*) qui comprend plusieurs variétés.

Le choix des espèces est réalisé par l'Institut de Recherche Agronomique Tropicale (I. R. A. T.) de Montpellier. Des échantillons sont ensuite envoyés à la SO. SU. H. V. pour l'expérimentation en vue d'une sélection pour la production industrielle. Les critères de sélection sont :

- le rendement en cannes,
- la teneur en sucre,
- la résistance aux maladies (charbon en particulier).

On dénombre actuellement à la SO. SU. H. V. 200 à 250 variétés en expérimentation et une dizaine en production industrielle. La culture est mécanisée et irriguée.

#### I - LE SERVICE D'EXPLOITATION

Il comprend trois (3) sections :

- Irrigation,
- Travaux mécaniques,
- Travaux Manuels.

La méthode culturale comporte succinctement les opérations suivantes :

- brûlage de la paille tombée sur le sol,
- sous-solage,
- labour au bulldozer,
- pulvérisage avec un tracteur,
- sillonnage (écart entre les sillons = 1,50 m),
- plantation manuelle.

#### II - LE SERVICE PHYTOSANITAIRE

Le Service Phytosanitaire est chargé de la lutte contre les ennemis de la culture de la canne à sucre (maladies et parasites). Si la canne à sucre est sujette à l'attaque de très

nombreux ennemis , il n'en demeure pas moins qu'ils sont assez limités sur le périmètre sucrier de Banfora du fait :

- du choix des variétés, réalisé par l'IRAT de Montpellier,
- de la sélection faite après les expérimentations de culture,
- du rôle efficace du Service Phytosanitaire.

Nous n'allons donc pas faire ici une étude exhaustive de la pathologie et des parasites de la canne à sucre. Nous nous contenterons de citer les ennemis qu'on rencontre plus fréquemment sur le périmètre sucrier.

#### A - PHYTOPATHOLOGIE

##### 1 - Mycoses

Ce sont des maladies provoquées par les champignons :

- charbon en premier chef,
- cercosporiose,
- rouille,
- ring-spot.

##### 2 - Bactérioses : provoquées par des bactéries

La seule bactériose découverte à la SO. SU. H. V. est la maladie de "Lead Scald" (brûlure des feuilles). La variété concernée a été supprimée dès lors.

##### 3 - Viroses : provoquées par des virus

La seule virose soupçonnée est le R. S. D. (Ratoon Stunting Disease), maladie caractérisée par un rabougrissement des pousses.

#### B - PARASITES ANIMAUX

##### 1 - Parasites du sol

###### a) Nématodes

Ils sont présents dans les sols sableux essentiellement. Ils sont très nocifs car susceptibles de faire baisser le rendement de moitié. Ils se subdivisent en trois groupes :

- Ectoparasites : piquent les racines,
- Endoparasites : pénètrent dans les racines en y creusant des galeries,
- Semi-Endoparasites.

...

# Plan

I. Le complexe Agro-sucier de Bonfora

II. La culture de la canne à sucre

III. Processus de fabrication du sucre

1. Couper à cannes

2. Extraction → Jus mélangé

3. Épuration → Jus clair

4. Évaporation → Sirop vierge

5. Cristallisation → Masses cuites

6. Mélange - Turbinage → Sucre brut

7. Raffinage → Sucre blanc

8. Séchage - Enrobage

9. Agglomération

IV. Résultats - Calculs .

V. Résumé - Conclusions .

---

Les plus fréquents à la SO. SU. H. V. sont :

- Hétérodera (Ectoparasite),
- Méloïdogyne (semi-Endoparasite),
- Hoploaimus (Endoparasite),
- Hélicotylenchus.

b) vers blancs

Ils s'attaquent aux racines. Le plus nocif est *Euepi-da baumanni*.

### 2 - Rongeurs

- rats : s'attaquent aux jeunes plantes surtout et parfois aux parties tendres des plantes âgées ;

- castors : ils rongent jusqu'à cassure de la tige. Les rongeurs causent des dégâts dérisoires.

### 3 - Borers

Ce sont les chenilles.

a) chenilles mineuses des tiges

- chenilles de lépidoptères (papillons).

Elles s'attaquent surtout aux parties tendres.

Jusqu'en dessous de 20 % d'attaque, on considère que leurs dégâts sont encore acceptables économiquement parlant.

- chenilles de coléoptères.

b) chenilles défoliatrices

Elles s'attaquent aux feuilles. Ce sont des chenilles de lépidoptères.

## C - PLANTES PARASITAIRES ET MAUVAISES HERBES

### 1 - Plante parasite

*Striga* essentiellement ; entraîne le jaunissement des feuilles.

### 2 - Mauvaises herbes :

- Cypérus,
- *Impérata*.

On procède après plantation à un traitement herbicide de pré ou de post-émergence.

## III - LE LABORATOIRE CULTURE

Il comprend deux (2) sections :

- une Section Canes,
- une Section Chimie.

A - SECTION CANNES

1 - Activité du laboratoire

L'activité du laboratoire repose sur des analyses réalisées sur la canne (jus et fibres). Les échantillons sont prélevés dans les champs. Il y a :

- les échantillons de maturation : ils permettent d'établir un ordre de récolte. On fait une analyse sur la base et le sommet de la canne.
- les échantillons de veille de coupe : c'est pour situer la valeur exacte de la canne avant la coupe.
- les échantillons de lieu de récolte : ils sont prélevés sur les andains (tas de cannes effeuillées dont on a sectionné les bouts blancs).
- les échantillons du transporteur : permettent de donner l'état de la fibre réelle de la canne rentrant à l'Usine.
- les échantillons du jus 1er moulin : leur analyse vise un double but :

- . situer la valeur de la canne à l'Usine sous extraction des moulins de l'Usine et non par les presses du laboratoire ;

- . comparer les analyses de laboratoire avec celles de l'Usine.

2 - Protocole d'analyse :

- broyer les cannes avec un broyeur JEFFCO : on obtient une pulpe qu'il faut bien mélanger ;
- prélever 500 g de la pulpe et passer sous la presse afin d'extraire le jus ; il reste la bagasse ;
- effectuer les analyses suivantes :
  - a) sur le jus :
    - brix,
    - déféquer à l'acétate de plomb, filtrer et polariser pour savoir le Pol ;
  - b) bagasse : on détermine la fibre.

B - SECTION CHIMIE

Les travaux de cette Section se font sur deux (2) types d'échantillons : les échantillons de sol et les échantillons de

...

Diagnostic Foliaire (D. F.).

1° Echantillons de sol :

- échantillons provenant des parcelles industrielles,
- échantillons provenant des essais du Service Agricole.

Les échantillons sont prélevés à des profondeurs de 0,30 à 0,60 m et de 0,60 à 0,90 m. Les analyses effectuées sont : le pH, l'azote total, le carbone, les bases échangeables, la capacité d'échange, le phosphore total, le phosphore assimilable.

2° Echantillons de D. F.

Sur les feuilles (gaine et limbe) on réalise les analyses suivantes : N, P, K, Ca, Mg, Na.

---

CHAP. IV / TECHNOLOGIE INDUSTRIELLE DU SUCRE DE CANNE /

---

Comme annoncé dans le plan de travail, nous allons parcourir l'itinéraire de la fabrication du sucre de canne par étapes successives, celles-là même qui se suivent dans l'espace et le temps et qui vont de la cour à cannes jusqu'à l'agglomération.

Le déroulement de toutes les opérations qui permettent d'obtenir en bout de chaîne le sucre (transport des cannes, sectionnement et broyage des cannes, traitement du jus extrait, etc.) nécessite il va sans dire un apport d'énergie. L'eau en tant que source d'énergie (on va le voir), tient une place prépondérante dans le fonctionnement de l'Usine. Ce rôle énergétique de l'eau, doublé des différentes utilisations que l'on en fait, font d'elle un élément fondamental dans le circuit de fabrication. La marche de l'Usine étant sous la dépendance de ce facteur, nous avons pensé à faire du chapitre de l'eau, un préliminaire dans ce cinquième chapitre.

I - L'EAU

L'eau utilisée à la SO. SU. H. V. provient de deux (2) sources principales :

- le fleuve Comoé,
- le barrage de Béréga.

Ces eaux naturelles vont subir différents traitements selon l'usage que l'on veut en faire, avant d'être distribuées dans les parties de l'Usine où elles auront un rôle à jouer.

Nous allons donc examiner en quoi consistent le traitement des eaux d'une part et ses différentes utilisations d'autre part.

A - TRAITEMENT DES EAUX

L'eau brute venue de la Comoé ou du barrage de Béréga va subir essentiellement deux (2) traitements :

- l'épuration,
- l'adoucissement.

...

## 1 - Epuration des eaux

### a) But-principe

L'eau brute contient des impuretés en suspension et en solution (matières organiques, matières minérales, etc.). Pour la rendre propre à l'utilisation en Usine, il est donc nécessaire d'éliminer ces éléments.

L'épuration des eaux à la SO. SU. H. V. compte tenu des eaux brutes dont on dispose, consiste à les traiter avec de la chaux et du sulfate d'alumine. Ceci va entraîner la précipitation (floculation) des matières en solution. Après décantation, l'eau est ensuite filtrée.

### b) Mode opératoire

L'eau brute, à son arrivée à l'Usine est tout d'abord stockée dans un bac (bac à eau brute). De ce bac, elle est envoyée dans un grand décanteur où plongent les tubes d'arrivée de la chaux et du sulfate d'alumine. Ce double traitement provoque la floculation des matières contenues dans l'eau brute. L'eau décantée est recueillie par débordement et va directement dans des filtres à sable (au nombre de quatre). Ces filtres sont lavés à l'eau filtrée toutes les 24 heures. L'eau filtrée est amenée au moyen d'une pompe dans un bac à eau filtrée. De ce bac se fait la distribution de l'eau filtrée.

## 2 - Adoucissement de l'eau filtrée

L'eau filtrée possède une certaine dureté du fait de la présence de sels essentiellement de calcium et de magnésium. Cette dureté se manifeste par les faibles propriétés mousseuses d'une telle eau au savon. Pour les besoins de la chaufferie, l'eau filtrée doit être adoucie c'est-à-dire débarrassée de ses sels avant d'être envoyée dans les chaudières. En effet, ces sels sont susceptibles de provoquer des dépôts sur les parois des tubes, ce qui occasionne des pertes de chaleur au chauffage ainsi que des dommages directs (altération des tubes par chauffage intense). Dans de tels cas, on procède à un traitement au sulfate disodique. L'adoucissement est obtenu en faisant passer l'eau filtrée à travers des résines qui, par un système d'échange d'ions ( $\text{Na}^+$  avec  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$ ) permettent de retenir les sels de calcium et de magnésium. La

...

résine est régénérée par une solution de chlorure de sodium (NaCl). L'eau adoucie est envoyée dans un bac à eau adoucie puis dans une espede de citerne appelée bache alimentaire avant d'être envoyée dans les chaudières.

### 3 - Analyse des eaux

On a recours à un certain nombre d'analyses chimiques afin de suivre au cours du traitement les caractéristiques des eaux telles que leur acidité, leur teneur en certains éléments (sels, silice, sucre, etc.). Etant donné les caractéristiques de l'eau de départ, les analyses qui sont réalisées à la SO. SU. H. V. sont : le pH, la dureté, l'alcalinité, la présence de sucre.

#### a) Le pH

Il est mesuré sur l'eau brute, l'eau décantée et l'eau filtrée afin de pouvoir manoeuvrer les débits de chaux et de sulfate d'alumine ainsi qu'au niveau de la bache alimentaire. Il est mesuré à l'aide d'un pH-metre. L'eau filtrée doit avoir un pH de 6,8 à 7,2.

#### b) Le T.H. : titre hydrotimétrique

Il se mesure au niveau de l'adoucisseur (à la sortie) et au niveau des chaudières.

##### \* Définition

Le titre hydrotimétrique (T. H.) représente la teneur de l'eau en sels de calcium et de magnésium. Cette teneur détermine la dureté de l'eau en rapport avec ses propriétés mousseuses au savon (une eau dure moussera peu tandis qu'une eau douce moussera davantage). C'est cette propriété simple qui est utilisée à la SO. SU. H. V. pour apprécier la dureté de l'eau. C'est une méthode peu précise mais elle demeure satisfaisante.

##### \* Mode opératoire

Mettre dans un flacon prévu à cet effet 40 ml d'eau à analyser. Préparer une liqueur de savon (savon de Marseille) et l'introduire dans une burette. Ajouter goutte à goutte en agitant la liqueur jusqu'à apparition et persistance (5 mn au moins) d'une mousse abondante. Lire alors la descente de burette ; soit n. Ce nombre exprime en degrés français (d° F)

...

le T. H. de l'eau.

1 d° F = concentration d'une solution normale/5 000.

c) Le T. A. (titre alcalimétrique) et le T. A. C. (titre alcalimétrique complet).

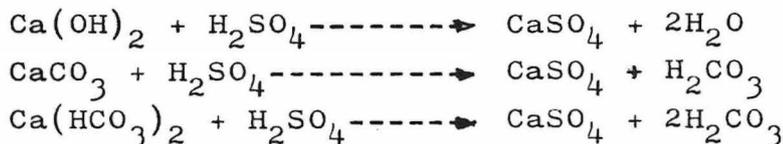
\* Définitions

- Titre alcalimétrique : c'est la quantité d'H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> N/50 qui neutralise 100 ml d'eau jusqu'à décoloration de la phénolphtaléine rose. En présence d'H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dans l'eau, on a les réactions suivantes :



La phénolphtaléine rose se décolore quand il y a une trace d'acide faible dans la solution, c'est-à-dire quand les trois réactions ci-dessus ont eu lieu.

- Titre alcalimétrique complet : c'est la quantité d'H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> N/50 qui neutralise 100 ml d'eau jusqu'à virage de l'hélianthine du jaune au rouge. En présence d'H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dans l'eau, on a les réactions suivantes :



L'hélianthine jaune vire au rouge quand les trois réactions ci-dessus ont eu lieu.

\* Modes opératoires

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> N/50 soit 4,9 g/l  
 Réactifs | Hélianthine 1 %  
 | Solution alcoolique de phénolphtaléine

- Titre alcalimétrique

A 100 ml d'eau à analyser, ajouter deux gouttes de phénolphtaléine puis titrer avec H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> N/50 jusqu'à décoloration ; soit n la descente de burette.

On a : T. A. = 5 n

- Titre alcalimétrique complet

A cette même solution, ajouter une goutte d'hélianthine. Titrer avec H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> jusqu'au virage du jaune au

...

rouge-orangé ; soit n' la descente de burette.

On a : T. A. C. = 5 n'

\* Calculs

Si on néglige la teneur en phosphates:

. T. A. = 0 → absence d'alcalis caustiques et de carbonates

. T. A. < 0,25 → absence de bicarbonates

. T.A.C. > 0,25 → présence de bicarbonates

mg/l de NaHCO<sub>3</sub> = 16,8 x T. A. C.

. T. A. <  $\frac{TAC}{2}$  → présence de carbonates et de bicarbonates

mg/l de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> = 21,2 x T. A.

mg/l de NaHCO<sub>3</sub> = 16,8 (T. A. C. - 2 T. A.)

. T. A. =  $\frac{TAC}{2}$  → présence uniquement de carbonates

mg/l de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> = 21,2 x T. A. = 10,6 T. A. C.

. T. A. > T. A. C. → présence de carbonates neutres et d'alcalis caustiques

mg/l NaOH = 8 (2 T. A. - T. A. C.)

mg/l Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> = 21,2 (T. A. C. - T. A.)

d) Sucre

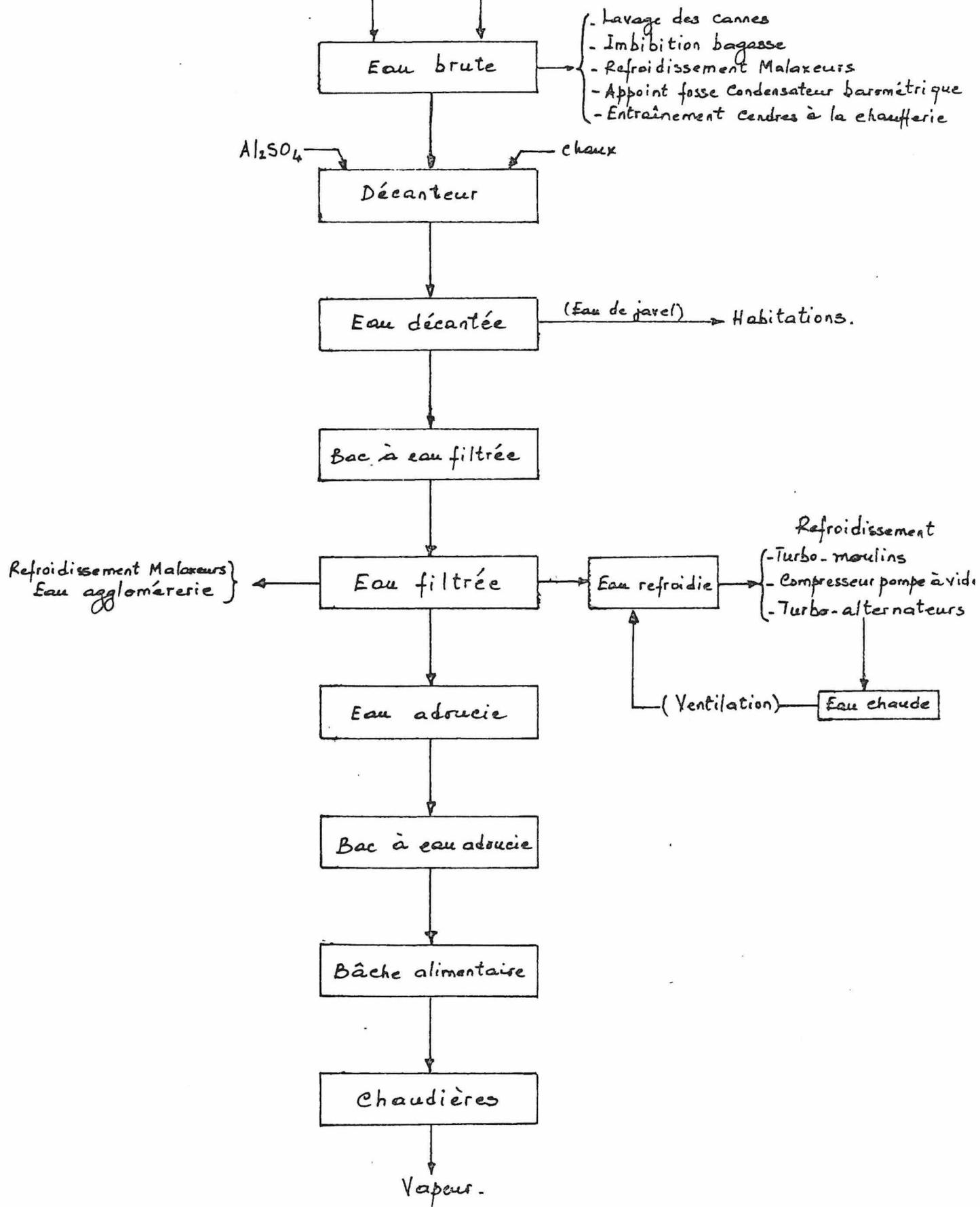
On fait des tests de présence de sucre dans les eaux de retour (dans la bêche alimentaire), les eaux de refroidissement et les eaux de caniveaux. Le mode opératoire est le suivant : prendre l'eau à analyser dans une éprouvette propre ; y verser quelques gouttes d' $\alpha$ -Naphtol, remuer. Introduire doucement H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentré contre la paroi intérieure du tube. Redresser et examiner la surface de séparation des liquides : s'il n'y a pas de sucre, on ne remarque rien ; s'il y a du sucre, on remarque un anneau brun violacé à la surface de séparation.

B - DISTRIBUTION-UTILISATION DES EAUX (cf. Schéma 1)

L'épuration et l'adoucissement de l'eau brute conduisent respectivement à l'eau filtrée et à l'eau adoucie. Ces eaux (brute, filtrée et adoucie) vont être distribuées dans l'Usine selon le rôle qu'elles vont jouer. Examinons quelles seront les différentes utilisations de ces eaux.

...

Comré Béréga



Sch. 1 Circuit des eaux : Distribution - Utilisation.

1 - Eau brute

L'eau brute connaît les distributions et usages suivants :

- eau de lavage des cannes,
- eau d'imbibition de la bagasse,
- eau de décanteur → eau décantée,
- eau de refroidissement des malaxeurs,
- eau de la fosse du condensateur barométrique,
- eau d'entraînement de la cendre à la chaufferie.

2 - Eau filtrée

- eau adoucisseur,
- eau de consommation dans les habitations : traitée alors à l'eau de Javel,
- eau de refroidissement des malaxeurs (moindre utilité),
- eau utilisée à l'agglomération,
- pompe calfat.

L'eau utilisée pour le refroidissement des turbo-alternateurs, turbo-moulins et compresseur de la pompe à vide, est ensuite refroidie par un système de ventilation et constitue l'eau refroidie.

3 - Eau refroidie

- turbo-alternateurs,
- turbo-moulins,
- compresseur de pompe à vide.

4 - Eau adoucie

Elle est utilisée à la chaufferie, dans les chaudières pour faire de la vapeur d'eau qui va servir essentiellement à la formation d'électricité, à l'évaporation et aux cuites.

C - CHAUFFERIE - PRODUCTION DE VAPEUR

A la sortie de l'adoucisseur, l'eau adoucie va dans un bac à eau adoucie puis dans la bêche alimentaire. De là, elle est reprise par une pompe (pompe alimentaire) et elle est envoyée dans les chaudières (au nombre de trois), véritables machines à vapeur dont le combustible est un sous-produit de la canne à sucre : la bagasse (résidu du broyage de la canne).

...

### 1 - Description - Fonctionnement d'une chaudière

La bagasse venue des moulins tombe sur un transporteur distributeur pour être alimentée aux trois (3) chaudières. L'excédent de bagasse est stocké dans une cour. A l'arrêt du broyage (nettoyage des corps d'évaporation, panne, etc.), cette bagasse excédentaire est reprise par un autre transporteur (transporteur de reprise) qui l'envoie de nouveau sur le transporteur-distributeur.

Une chaudière est constituée des éléments suivants :

- un alimentateur de bagasse,
- un dispositif de combustion du fuel,
- un foyer où a lieu la combustion de la bagasse,
- une grille basculante pour recueillir les cendres de la combustion,
- un ensemble de deux (2) ballons (ballon supérieur et ballon inférieur),
- un ensemble de tubes où circule l'eau,
- un économiseur de chaleur,
- un dispositif de soufflage d'air dans le foyer,
- un surchauffeur.

L'alimentateur de bagasse règle la chute dans le foyer en fonction de la pression de la vapeur demandée. Quant au dispositif de soufflage d'air (air primaire par la grille, air secondaire après le four, air de tirage), il permet une meilleure répartition de la bagasse dans le foyer et ainsi, elle est brûlée avant même de tomber sur la grille, en cendres. Le dispositif de combustion par le fuel arrive dans le foyer par des brûleurs. La chaleur dégagée par la bagasse brûlée est communiquée aux tubes et à l'eau qu'ils contiennent. L'émulsion vapeur-eau formée circule du ballon inférieur au ballon supérieur où la vapeur se sépare de l'eau. Cette vapeur saturée est orientée dans un surchauffeur situé dans une zone de chaleur intense. La vapeur vive ou vapeur sèche ainsi formée est envoyée à l'utilisation des alternateurs et des moulins. Les chaudières sont alimentées en eau venue de la bêche alimentaire. Cette eau qui a une température de 90° C passe d'abord dans un économiseur de chaleur pour être chauffée par les gaz (fumée) venus du foyer à une température de 120 à 160° C avant d'arriver dans le circuit ballon supérieur-ballon inférieur et tubes. La cendre déposée sur la grille est

basculée et tombe dans une fosse où elle est drainée par de l'eau brute. L'ensemble arrive dans une fosse où deux pompes font la séparation.

Remarques sur la bagasse

1° Composition

- carbone.....	45,0 %
- azote.....	6,5 %
- oxygène.....	44,0 %
- cendres.....	2,5 %

2° Pouvoir Calorifique (P. C.)

C'est la quantité de chaleur que peut fournir la combustion d'un kg de bagasse.

3° Pouvoir Calorifique Supérieur (P. C. S.)

C'est le pouvoir calorifique à la température de 0° C et à la pression de 760mm de mercure (irréalisable).

4° Pouvoir Calorifique Inférieur (P. C. I.)

C'est le pouvoir calorifique dans les conditions du foyer. La combustion normale de la bagasse entraîne un dégagement de CO<sub>2</sub>. S'il se dégage du CO, cela veut dire que la combustion est imparfaite.

Exemple :

- P. C. Bagasse sèche : 4 250 kcal/kg

- P. C. I. = 4 250 - 12 s - 48,5 w

w = humidité de la bagasse

s = sucre % bagasse

2 - Utilisation - Rôle de la vapeur

La vapeur issue des chaudières va constituer la source d'énergie qui permet le fonctionnement de l'Usine. Elle va jouer essentiellement les rôles suivants :

a) Rôle dans le fonctionnement des moteurs de l'Usine :

- Turbo-alternateurs : au nombre de trois (3) ; ce sont eux qui fournissent le courant avec lequel on alimente toute l'Usine ainsi que les habitations.

- Turbo-moulins ou turbo-réducteurs : également au nombre de trois (3) ; ce sont les turbines à vapeur d'entraînement des six (6) batteries de moulins.

- Autres moteurs : sécheur, désucreur, moteurs de la raffinerie, etc...

...

b) Rôle dans l'évaporation et pour les cuites

C'est la vapeur issue des turbo-alternateurs et des turbo-moulins encore appelée vapeur d'échappement qui est utilisée pour l'évaporation du jus clair dans les corps d'évaporation au nombre de quatre (4). Pour les cuites, c'est de la vapeur d'échappement et une partie de la vapeur de prélèvement du premier corps d'évaporation. Pour le réchauffage du jus dans les réchauffeurs, on utilise aussi de la vapeur (vapeur de prélèvement des 1er, 2e et 3e corps d'évaporation et de la vapeur d'échappement).

II - LA COUR A CANNES

A - ETUDE DU CIRCUIT

On appelle : cour à cannes, la partie de l'Usine qui se situe entre le pont-bascule où les cannes sont pesées (tonnage) et le transporteur principal qui amène en direction des moulins de la canne déchiquetée. Elle comprend les éléments suivants :

- le pont-bascule,
- l'aire de stockage des cannes,
- le système de déchargement des cannes,
- la table à cannes,
- le transporteur auxiliaire,
- les coupe-cannes : coupe-cannes ébaucheur et coupe-cannes finisseur,
- le transporteur principal.

1 - Transport des cannes-Pont-bascule

Les cannes sont coupées manuellement, effeuillées et démunies de leurs bouts blancs.

Le transport des cannes est effectué par des remorques d'une capacité de 10 tonnes, des champs jusqu'à l'Usine. Ces remorques passent sur le pont-bascule où on enregistre le poids brut des cannes entrant à l'Usine.

2 - Aire de stockage

Cette aire a été aménagée dans le but de pallier à un déficit de cannes pouvant intervenir à l'Usine. Les stocks dans un tel cas sont susceptibles d'assurer un ravitaillement de trois à cinq heures de temps. Le ravitaillement est continu (jour et nuit).



### 3 - Système de déchargement

Le système de déchargement des cannes est composé de deux grues (machines CAMICO) :

- une grue pour l'aire de stockage,
- une grue pour la table à cannes.

Chaque grue est munie d'un crochet mobile ; elle est actionnée par un conducteur situé dans une cabine. Le déchargement est à filets.

### 4 - Tables à cannes

C'est une cuvette de grandes dimensions dont le fond est muni de chaînes ayant des crochets. Les crochets dans leur mouvement entraînent les cannes. On a un système de transmission hydraulique. On peut faire varier la vitesse du système. Sur la table, on trouve deux appareils :

- le niveleur : c'est un arbre posé transversalement sur la table et qui permet de niveler la couche de cannes,
- l'ébouleur : c'est un arbre sur lequel sont fixées des palettes en hélice tournant dans le sens contraire de la table. Son rôle est de doser la chute des cannes dans le transporteur auxiliaire afin de ne pas l'engorger de cannes.

En plus de ces deux appareils, on trouve sur la table :

- un système de lavage des cannes et d'extraction des eaux boueuses. Le lavage des cannes se fait avec de l'eau brute ; son but est de débarrasser les cannes de la terre entraînée lors de la coupe. Si elles n'étaient pas lavées, du sable serait entraîné au niveau des moulins et augmenterait l'usure des cylindres. Cette usure peut se poursuivre aux turbines des pompes. Le sable peut bloquer également les hélices des bacs de chaulage et de préchaulage ainsi que l'arbre des décanteurs ou obstruer les tubes des réchauffeurs ;
- un système d'évacuation des feuilles et débris de cannes tombés sous le transporteur.

### 5 - Transporteur auxiliaire

Après l'ébouleur, la canne lavée arrive au niveau du transporteur auxiliaire constitué de deux (2) chaînes parallèles sur lesquelles sont fixées des planchettes. Les chaînes sont munies de galins qui coulisent sur des glissières. La canne est déposée sur les planchettes. Le rôle du transporteur auxiliaire est de

régler l'alimentation de la canne au transporteur principal. Sa vitesse est d'environ la moitié de celle du transporteur principal.

#### 6 - Coupe-cannes

Ils sont au nombre de deux :

- le coupe-cannes ébaucheur,
- le coupe-cannes finisseur.

Ce sont de grands arbres hexagonaux où sont fixés des supports symétriques sur lesquels s'adaptent des couteaux inversables. L'écart entre les supports est plus petit pour le finisseur que pour l'ébaucheur. Au cours des arrêts pour le nettoyage, on procède au contrôle des couteaux.

##### a) Coupe-cannes ébaucheur

Il est situé au niveau du transporteur auxiliaire. Il a pour rôle d'augmenter et de maintenir la capacité des moulins puis de favoriser l'extraction du jus.

Exemple : capacité des moulins

- canne non déchiquetée : 150 à 250 kg/m<sup>3</sup>
- canne déchiquetée : 250 à 350 kg/m<sup>3</sup>

##### b) Coupe-cannes finisseur

Il joue le même rôle que le premier dont il parfait le travail.

#### 7 - Transporteur principal

Son rôle est de transporter la canne déchiquetée jusqu'aux moulins. Il a une commande à vitesse variable. Il y a un système d'asservissement qui arrête automatiquement le transporteur auxiliaire quand le transporteur principal s'arrête. Un autre système permet d'arrêter les deux transporteurs quand les coupe-cannes sont surchargés.

#### B - CONTROLE-QUALITE

Au niveau du transporteur principal, on prélève un échantillon de cannes déchiquetées pour évaluer le pourcentage de fibres de la canne. Fibre = canne - (eau + sucre).

Mode opératoire :

Prendre 200 g de canne déchiquetée et les introduire dans un broyeur. Procéder au broyage et récolter le résidu. Prendre un

échantillon ( $P_1 = 100$  g) et procéder au désucrage. Pour cela, mettre l'échantillon dans un sachet en toile prévu à cet effet (poids du sachet =  $P_2$ ). Faire couler de l'eau à l'intérieur pour entraîner le sucre. Poursuivre jusqu'à ce que le sachet ne contienne plus de sucre. On peut encore le passer dans un bac dans lequel passe un courant d'eau. Arrêter quand l'eau ne contient plus de sucre (procéder au test à l' $\alpha$ -naphtol). Tordre le sachet pour enlever l'eau. Introduire alors le sachet dans une étuve jusqu'à poids constant, soit  $P_3$ .

Calcul de la fibre :

Soit F la fibre

On a  $P_3 = P_2 + F$  d'où  $F = P_3 - P_2$

$$F \% \text{ canne} = \frac{P_3 - P_2}{P_1}$$

### III - EXTRACTION

C'est l'une des étapes les plus importantes dans le circuit de fabrication, dans la mesure où elle détermine la quantité de sucre de la canne qui sera effectivement exploitée. De la réussite de sa conduite va donc dépendre le rendement en sucre. C'est pourquoi, l'entretien du matériel utilisé à cet effet (moulins essentiellement) ainsi que son bon fonctionnement sont d'une importance capitale dans l'industrie du sucre de canne. C'est la raison pour laquelle, dans ce chapitre, nous allons accorder une attention particulière au côté mécanique de l'extraction en vous faisant une description du matériel utilisé avant de vous parler de la technique d'extraction proprement dite.

#### A - MOULINS : DESCRIPTION-GENERALITES

Le rôle des moulins est d'effectuer le broyage des cannes afin d'en extraire le jus. Les caractéristiques des moulins correspondent donc au rôle qu'on leur a assigné.

##### 1 - Description

A la SO. SU. H. V., on utilise pour le broyage, six moulins installés en batterie. Un moulin élémentaire comprend

...

trois (3) cylindres :

- deux cylindres inférieurs reposant sur un bâtis : un cylindre d'entrée et un cylindre de sortie ;
- un cylindre supérieur suspendu : il joue le rôle le plus important dans le broyage.

En plus de ces trois cylindres, on trouve un cylindre plus réduit appelé cylindre bourreur et qui joue le rôle de bourrage de la canne déchiquetée dans le moulin. Selon le broyage (fonction de la fibre), on effectue au niveau des cylindres un réglage des entrées et sorties.

2 - Matériel entrant dans la composition d'un moulin :

- bagassière : pièce qui fait le raccordement entre les deux cylindres inférieurs. C'est sur elle que glisse la canne au moment de la pression. Elle s'articule sur des tourillons et est réglable au moyen de tirants et de contre-tirants ;
  - pion d'entraînement ;
  - excentriques : permettent de racler la bagasse insérée dans les rainures ;
  - dispositif de graissage centralisé ;
  - dispositif de pression hydraulique : c'est un accumulateur oléopneumatique ;
  - groupe turbo-réducteur (ou turbo-moulins) : c'est le moteur d'entraînement des six (6) batteries de moulins ; il a une puissance en marche de 780 chevaux et une puissance maximale de 920 chevaux. La pression effective de la vapeur d'admission est de 20 à 25 bars, la vapeur ayant une température de 320 à 340° C (vapeur vive). L'échappement après les turbines est de 1,2 à 1,8 bars ;
  - indicateur de levée hydraulique du cylindre supérieur ;
  - indicateur limitant la levée des chapeaux des moulins ;
  - rainures des cylindres : leur but est d'augmenter la capacité des cylindres. Elles permettent en plus la division de la bagasse de façon plus complète facilitant ainsi l'extraction. Elles sont de trois sortes :
    - . rainures circulaires,

...

. Rainures Messchaert : profondes, faites sur le cylindre d'entrée, pour faciliter l'entrée et l'écoulement du jus lors de la pression ;

. chevrons : encoches hélicoïdales taillées dans les dents de rainures pour faciliter la prise de la bagasse. Ils sont indispensables aux cylindres d'entrée.

### 3 - Usure des cylindres

Elles sont provoquées par :

- les morsures du métal par l'acidité du jus (pH = 4,5 à 5,5),
- le frottement des raclettes et des bagassières,
- le passage des morceaux de fer écrasant le métal et blesant les dents de cylindres,
- les sables.

Si les usures à l'arrêt de la campagne sont de l'ordre de 5 %, il faut changer les cylindres.

### 4 - Vitesse des moulins

Les moulins tournent à la vitesse de 3 à 6 tours/minute. Cette vitesse augmente du 1er au 6e moulin ; cela permet l'absorption facile de la bagasse car l'emprise de cette dernière augmente avec la vitesse.

### 5 - Pression des moulins

Les accumulateurs oléopneumatiques à vessie d'une charge de 250 à 350 kg/cm<sup>2</sup> liés aux verrins hydrauliques par des tuyaux jouent le rôle de pression. Il y a un circuit d'huile maintenu sous pression au moyen d'une pompe. Du point de vue fabrication, sous l'influence de la pression, les vaisseaux fibreux de la canne éclatent et libèrent le jus qui s'écoule dans les rainures.

### 6 - Capacité des moulins

La capacité des moulins s'exprime en tonnes de canne broyée à l'heure. Les facteurs qui la déterminent sont :

- les ligneux (fibre),
- la vitesse des cylindres,
- le nombre des cylindres,
- la préparation de la canne (coupe-canne),
- l'imbibition,
- le rainurage,
- la pression hydraulique,

- le réglage des moulins,
- le personnel.

### 7 - Réglage des moulins

Le but du réglage est de permettre la détermination des positions relatives les plus favorables à donner aux 3 cylindres et à la bagassière afin de connaître les meilleures conditions d'alimentation (bagasse) et obtenir les meilleurs résultats d'extraction. Il s'effectue en réglant les ouvertures d'entrée et de sortie ainsi que la position de la bagassière. Un mauvais réglage peut entraîner un bourrage, c'est-à-dire que le moulin n'absorbe plus toute la matière qui lui arrive si bien qu'elle s'accumule à l'entrée.

## B - EXTRACTION : PRINCIPE ET TECHNIQUE

### 1 - Principe

En sucrerie de canne, l'extraction consiste :

- à presser la canne à l'aide de moulins afin d'en extraire le jus,
- à faire une imbibition avec de l'eau brute, de la bagasse obtenue après le travail de broyage des moulins. Cette opération permet la diffusion du sucre dans le jus. Elle a pour but de remplacer le sucre contenu dans la bagasse par de l'eau.

### 2 - Technique d'imbibition (cf. schéma 2)

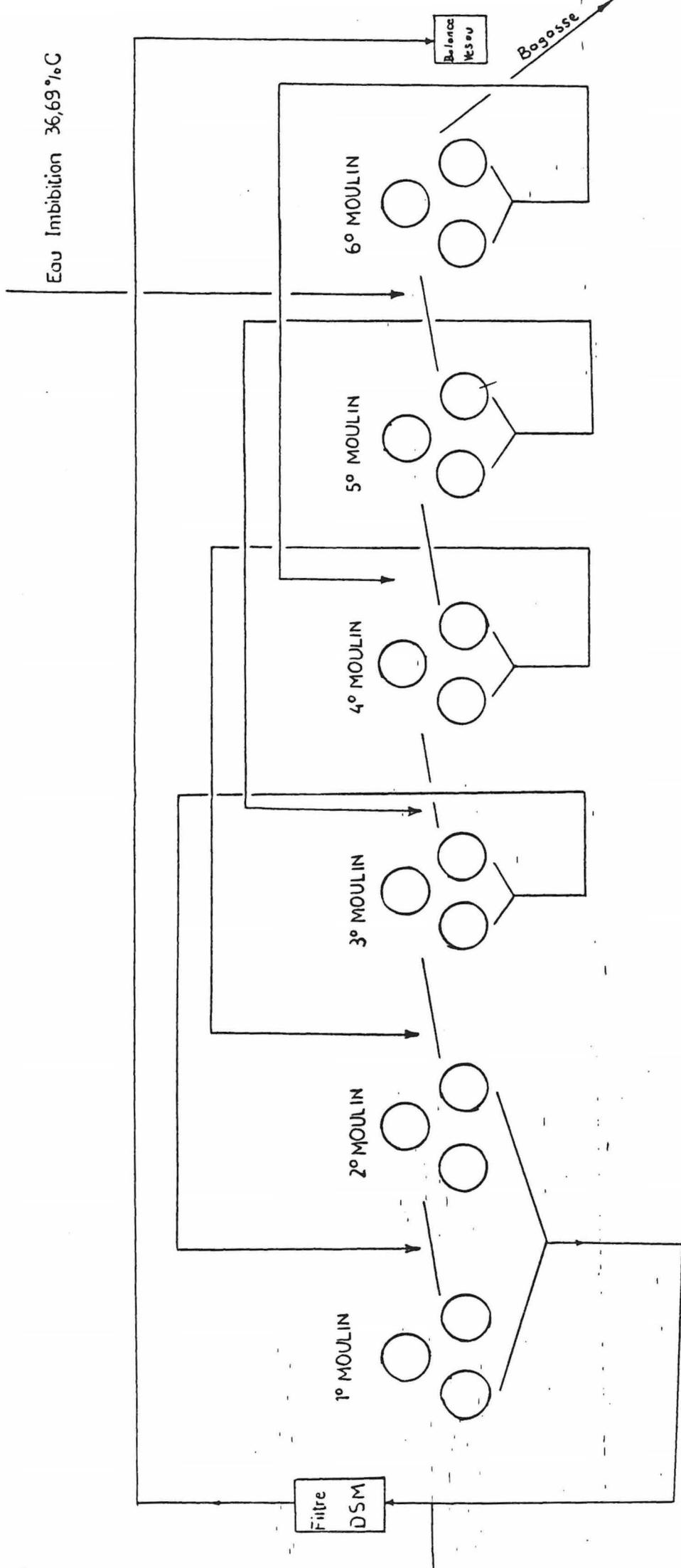
Le système d'imbibition de la bagasse est dit composé-multiple. Ce système d'imbibition économique assure une meilleure extraction du sucre du fait de la reprise à chaque fois par l'eau ou le jus d'imbibition d'un moulin donné, de la bagasse sortant du moulin antérieur. Le jus extrait est appelé jus mélangé ou vésou. Les caractéristiques du jus mélangé sont les suivantes :

- . pH = 4,5 à 5,5
- . Température = 25 à 30° C
- . Brix = 13,84
- . Pureté = 81,84

Quant à la bagasse, elle est prise en charge par un élévateur de bagasse qui l'amène à la chaufferie.

L'imbibition est réglée en fonction :

- de la marche de l'évaporation,
- de l'état de la fibre.



Sch. 2. Imbibition Composée - Multiple 50.SU.H.V.

Eau Imbibition 36,69°C

Filtre DSM

1° MOULIN

2° MOULIN

3° MOULIN

4° MOULIN

5° MOULIN

6° MOULIN

Balance Measu

Bogosse

JUS 1° ET 2° MOULIN

Une très forte imbibition entraîne une consommation intense de vapeur au niveau de l'évaporation du jus, de même qu'un glissement sur le transporteur intermédiaire, ce qui provoque le bourrage.

C - DEFINITIONS - DONNEES RELATIVES A L'EXTRACTION

1 - Extraction

- Extraction réelle (ER)

C'est le sucre du jus mélangé (J. M.) par rapport à celui de la canne.

$$ER = \frac{\text{sucre JM \% canne}}{\text{sucre \% canne}}$$

- Extraction réduite (Er)

C'est l'extraction calculée théoriquement en prenant comme fibre de référence une fibre standard égale à 12,5 % de la canne.

$$Er = 100 - \frac{(100 - ER)(100 - F)}{7 F}$$

- Extraction au niveau de chaque moulin (En)

Soit : w le poids de l'eau d'imbibition

f le poids de la fibre

On pose :  $\lambda = \frac{w}{f}$  le poids d'eau d'imbibition par unité de poids de fibre.

On a :

$$En = \frac{\lambda^n - 1}{\lambda^{n+1} - 1}$$

n = N° du moulin considéré

2 - Brix

a) Définition :

Le jus de canne contient en solution : du sucre,

...

des pigments chlorophylliens, des sels minéraux constitutifs de la plante et d'autres dérivés solubles ; on groupe sous le nom de non-sucre tous les éléments qui ne sont pas du saccharose. L'ensemble : sucre et non-sucre constitue les matières sèches. On appelle brix, le pourcentage de matières sèches contenu dans une solution sucrée. On distingue :

- le brix-poids : poids de matières sèches contenus dans 100 g d'une solution sucrée ;
- le brix-volume : poids de matières seches contenus dans 100 ml d'une solution sucrée.

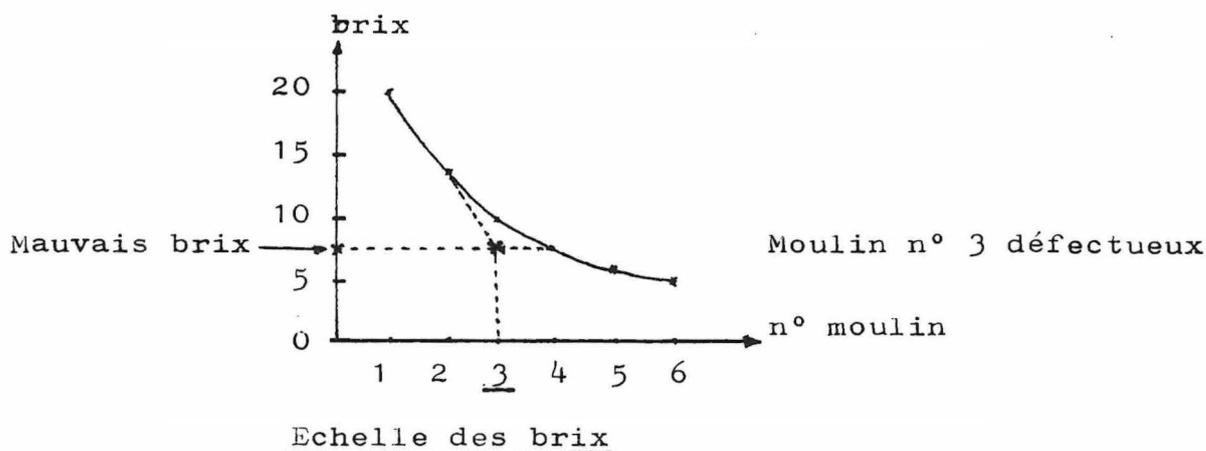
b) Brix du jus extrait au niveau de chaque moulin

Le brix du jus extrait au niveau de chaque moulin s'exprime comme suit :

$$B_n = B_0 \frac{\lambda^n - p + 1 - 1}{\lambda^n + 1 - 1} \quad B_0 = \text{brix du jus normal}$$

c) Application du brix : contrôle des moulins grâce à l'échelle des brix.

Pour contrôler le fonctionnement des moulins, on a souvent recours à l'échelle des brix. C'est un diagramme sur lequel on porte en abcisses les numéros des moulins et en ordonnées les brix des jus des moulins correspondants. L'allure de la courbe obtenue permet de contrôler le fonctionnement des moulins.



...

d) Brix de la bagasse

On considère que la pureté de la bagasse est la même que celle du jus du 6e moulin, d'où :

$$\text{Brix bagasse} = \frac{\text{Sucre \% bagasse}}{\text{Pureté du jus du 6e moulin}} \times 100$$

3 - Pureté

a) définition : c'est la quantité de sucre contenue dans 100 g de matières sèches ;

b) pureté du jus extrait au niveau de chaque moulin :

Soit :  $S_p$  la pureté du jus du moulin considéré,

$S_0$  la richesse du jus normal,

$p$  le rang du moulin de pression considéré parmi les pressions humides,

$n$  le nombre de moulins de pression humide.

$$S_p = S_0 \frac{\lambda^{n-p+1} - 1}{\lambda^{n+1} - 1}$$

4 - Polarisation (Pol)

C'est la quantité de sucre contenu dans 100 g de matières sèches.

5 - Humidité :

Quantité d'eau en % contenu dans une matière ;  
exemple : humidité de la bagasse, mélasse, sucre.

6 - Equation de base de contrôle des moulins

Pour le contrôle des moulins, on se réfère à l'équation suivante :

Canne + Eau d'imbibition = jus mélangé + bagasse

En rapportant cette équation à 100, on obtient :

$$100 + w = Q + B$$

$w$  = Eau d'imbibition % canne

$Q$  = poids du jus mélangé % canne

$B$  = poids de la bagasse % poids de la canne

Remarque : la polarisation de la bagasse sortant d'un moulin doit être toujours inférieure à celle du jus du cylindre de sortie de ce moulin. Dans le cas contraire, cela veut dire que la diffusion de l'eau laisse à désirer.

D - CONTROLE-QUALITE AU NIVEAU DE L'EXTRACTION (cf. Tabl. I; p. 39")

Au niveau de l'extraction, les analyses portent sur le jus et la bagasse.

1 - Analyses des jus

a) Brix

Le brix est mesuré sur le jus 1er moulin, le jus 6e moulin et le jus mélangé. Il se mesure à l'aide d'un densimètre-brix. On postule dans cette mesure que la densité de toutes les matières sèches (sucre et non sucre) est la même. On procède comme suit :

- prendre une éprouvette de 500 ml et la remplir du jus filtré sur tamis ;
- y introduire un densimetre-brix approprié ;
- laisser l'équilibre s'établir ;
- lire le brix poids et noter la température ;
- procéder à la correction compte-tenu de la température pour avoir le brix-poids corrigé (se référer aux tables).

b) Polarisation (Pol)

Elle se mesure sur le jus 1er moulin, le jus 6e moulin et le jus mélangé.

- Principe :

Cette mesure est basée sur le principe du pouvoir rotatoire du saccharose sur la lumière polarisée. On dit qu'une solution de saccharose est optiquement active, c'est-à-dire qu'elle a la propriété de dévier le plan de polarisation de la lumière. L'angle de rotation ( $\alpha$ ) est fonction de :

- . la concentration de la solution en saccharose (C) ;
- . l'épaisseur de la solution traversée (l) ;
- . un facteur caractéristique du corps actif appelé le pouvoir rotatoire spécifique ( $\xi$ ).  $\xi$  est fonction de la température et de la longueur d'onde ; c'est pourquoi les mesures

...

doivent être effectuées à la même longueur d'onde.

$$a = \epsilon \cdot C \cdot l$$

Mode opératoire

- . Prendre un ballon de 100 ml et le remplir de jus ;
- . Déféquer avec de l'acétate de plomb sec ;
- . Agiter, laisser reposer quelques instants, filtrer ;
- . Mettre le filtrat dans un tube de 200 mm d'épaisseur ;
- . Passer à la lecture au saccharimètre.

Cette lecture donne une valeur x qu'il faut multiplier par le facteur de polarisation pour trouver la polarisation (ici 26 g de saccharose pour 100 ml).

c) Pureté (p)

Mesurée sur les mêmes jus que pour le brix et la polarisation. Elle se calcule à partir de la polarisation et du brix de la solution.

$$\text{Pureté} = \frac{\text{Sucre}}{\text{Brix}} \times 100$$

d) Glucose

Évalué dans le jus 1er moulin et le jus mélangé afin de pouvoir suivre son évolution dans le sirop de refonte, le sucre et la mélasse.

- Principe : la mesure du glucose est basée sur le principe de la réduction du fer ferrique en fer ferreux par le glucose en présence de ferrocyanure de potassium comme indicateur coloré et de l'acide picrique en fin d'opération. On peut remplacer le ferrocyanure par la liqueur de fehling ;

- Mode opératoire : prendre 50 cc de jus dans un ballon de 200 ml après les avoir déféqués (acétate de plomb) et filtrés ; remplir le ballon jusqu'au trait de jauge et mélanger ;

...

introduire la solution dans une burette (solution titrante) ; mettre dans un bécher : 2,5 ml de ferrocyanure de potassium et 50 ml d'eau distillée (coloration jaune) ; porter le contenu du bécher à ébullition et procéder à la titration pendant l'ébullition jusqu'à décoloration ; ajouter alors deux gouttes d'acide picrique : si la réaction est terminée, on obtient une coloration rouge, sinon, l'acide picrique recolore le contenu du bécher en jaune ; poursuivre alors la titration jusqu'à obtention d'une coloration rouge ; soit, n le volume (ml) de la solution titrante versée.

Le glucose pour 100 g de jus est égal à :  $\frac{6,625}{n}$  g

Le glucose % matières seches = $\frac{6,625}{n \text{ Brix}} \cdot 100$
---

e) Insolubles dans le jus mélangé : prendre 5 l de jus mélangé ; déterminer son brix, sa densité et son poids ; mettre le jus mélangé dans un sachet qui va retenir les insolubles tandis que traverse ce qui est en solution ; procéder ensuite au désucrage ; mettre le sachet à l'étuve jusqu'à poids constant ; faire les calculs pour avoir le pourcentage d'insolubles (compris entre 0,001 et 0,009).

## 2 - Analyse de la bagasse

Sur la bagasse, on fait les analyses suivantes :

- la polarisation : pour déterminer la quantité de sucre qui s'en va avec la bagasse ;
- l'humidité de la bagasse.

### a) Polarisation

Il faut au préalable par une méthode donnée, traiter la bagasse afin d'extraire le sucre qui y est contenu. Il y a deux méthodes :

+ utilisation d'un bol mixer : prélever 69,50 g de bagasse dans le bol mixer ; y introduire 500 ml d'eau distillée et 10 ml de bicarbonate de soude ; agiter pendant 10 mn à l'aide d'un appareil prévu à cet effet ; recueillir l'eau dans un ballon de 50 ml ; déféquer avec de l'acétate de plomb ;

...

polariser au tube de 100 mm ; lire directement la teneur de la bagasse en sucre.

Remarques :

- le poids de la bagasse, le volume d'eau et l'épaisseur du tube de polarisation sont choisis de telle sorte que la lecture soit directe ;

- la méthode étant peu efficace, il est conseillé de passer au préalable la bagasse dans un broyeur avant de la mettre dans le bol.

+ Méthode mauricienne : peser dans une cocotte un échantillon de bagasse avec de l'eau ; adapter à la sortie des vapeurs un réfrigérant qui provoque la condensation des vapeurs ; chauffer pendant une demi-heure ; recueillir l'eau condensée et procéder comme ci-dessus à l'analyse.

b) Humidité de la bagasse : peser 100 g (facultatif) de bagasse dans un récipient ; mettre à l'étuve à 105° C pendant six heures ; refroidir au dessiccateur et peser (P<sub>2</sub>).

$$\text{Humidité \% bagasse} = \frac{P_2 - 100}{100}$$

3 - Etablissement d'un bilan d'extraction

Le bilan d'extraction s'exprime par la formule générale suivante :

$$\begin{matrix} \text{Canne} & + & \text{eau d'imbibition} & = & \text{jus mélangé} & + & \text{bagasse} \\ C & + & E & = & JM & + & Ba \end{matrix}$$

- Détermination de la bagasse

$$Ba = (C + E) - JM$$

- Détermination du sucre dans le jus mélangé (JM)

$$Tms = JM \cdot Bjm \quad Tms = \text{tonnes de matières sèches}$$

$$Ts = Tms \cdot P \quad Ts = \text{tonne de sucre}$$

P = pureté du jus mélangé

Bjm = Brix du JM.

- Tonnes de sucre dans la bagasse (Tsba)

$$Tsba = Ba \cdot S \% Ba$$

- Tonnes de sucre dans la canne

$$\text{Sucre canne} = \text{sucre JM} + \text{sucre bagasse}$$

...

- Richesse

$$\text{Richesse} = \text{sucre canne \% canne}$$

- Extraction

. Extraction réelle (ER)

$$\text{ER} = \frac{\text{sucre JM \% canne}}{\text{sucre \% canne}}$$

. Extraction réduite (Er)

$$\text{Er} = 100 - \frac{(100 - \text{ER})(100 - \text{F})}{7 \text{ F}}$$

- Calcul de la fibre

$$\text{Bagasse} = \text{Eau} + \text{Matières sèches} + \text{Fibre}$$

$$\text{Ba} = \text{H} + \text{MS} + \text{F}$$

$$\text{F} = \text{Ba} - (\text{H} + \text{MS})$$

$$\text{On a : } P = \frac{S}{B} \quad \rightarrow B = \frac{S}{P}$$

B = Brix

S = Sucre % Bagasse

P = pureté

Prenons la bagasse comme étant égale à l'unité ; on aura :

$$\text{Ba} = \text{F} + \text{MS} + \text{H} = 1$$

$$\text{F} = 1 - (\text{H} + \text{MS})$$

En pourcentage, la matière sèche est égale au brix (MS = B)

d'où :

$$\text{F} = 1 - (\text{H} + \text{B})$$

$$\text{F} = 1 - \left(\text{H} + \frac{\text{S}}{\text{P}}\right)$$

S représente la pureté de la bagasse  $\rightarrow$  on l'écrit Sba

P représente la pureté du jus du dernier moulin  $\rightarrow$  on l'écrit Pjdm

$$\text{On a donc : } \text{F} = 1 - \left(\text{H} + \frac{\text{Sba}}{\text{Pjdm}}\right)$$

Pour trouver la fibre (en poids) contenu dans la bagasse, il faut multiplier le pourcentage ci-dessus par le poids de la bagasse. On aura :

$\text{F}(t) = \text{Ba}(t) \left(1 - \text{H} - \frac{\text{Sba}}{\text{Pjdm}}\right)$	$\text{F}(t)$ = tonnes de fibres $\text{Ba}(t)$ = tonnes de bagasse
---	--

- Ligneux % canne ou fibre % canne

...

- Imbibition % canne,
- Imbibition % ligneux,
- Jus mélangé % canne

La détermination de toutes ces valeurs permettra ultérieurement pour l'établissement du rapport journalier de la sucrerie.

#### IV - EPURATION

La finalité en industrie sucrière est d'extraire de la canne le saccharose. Toutes les opérations entreprises visent donc ce but. Or, le jus mélangé obtenu à l'extraction contient en plus du sucre, des particules de bagasse, du non sucre et d'autres impuretés. La première étape de traitement du jus qui vise l'élimination de ces matières qui n'intéressent pas le fabricant est l'épuration.

##### A - Etude de la méthode d'épuration

Le jus mélangé venu de l'extraction, de pH = 4,5 à 5,5 est pris par une pompe (électropompe centrifuge à vésou) qui le fait passer à travers un tamis (DSM) avant de l'envoyer vers une balance (balance à vésou) où il est pesé (2 tonnes). Il est ensuite recueilli dans un bac (bac de réception du vésou) de capacité 25 m<sup>3</sup>. A ce niveau, il subit une remontée du pH afin de prévenir l'inversion du saccharose (décomposition du saccharose en d'autres oses comme le glucose, le fructose, etc. en milieu acide).

L'épuration proprement dite, comporte trois opérations : la défécation ou traitement par la chaux, la décantation, la filtration des boues.

##### 1 - Défécation

Le traitement par la chaux permet d'éliminer les acides organiques qui précipitent sous forme de sels de chaux insolubles :



Les matières albuminoïdales sont coagulées, une partie des matières colloïdales et les cires sont détruites. Le traitement se fait en deux étapes : le préchaulage puis le

...

chaulage.

a) Préchaulage

Il s'effectue dans un bac (bac préchauteur). A partir du bac à vésou pesé, une pompe l'envoie auparavant dans un réchauffeur (réchauffeur avant préchaulage). La vapeur de chauffe provient du 3e corps d'évaporation ou vapeur de prélèvement du 3e corps d'évaporation (VP<sub>3</sub>). La température du jus passe de 25-30° C à 60-75° C.

Le préchaulage consiste à envoyer dans le jus une première dose de lait de chaux préparé à 6° Baume. Le pH du jus obtenu varie entre 6,2 et 6,5.

b) Chaulage

Après préchaulage, le jus est de nouveau envoyé dans un réchauffeur (réchauffeur avant chaulage) où il est réchauffé jusqu'à la température de 75 à 85° C avec des vapeurs venues du premier corps d'évaporation (VP<sub>1</sub>). Le jus est ensuite recueilli dans le bac chauteur où il reçoit une deuxième dose de chaux qui remonte le pH à 7,2 maximum. Après chaulage, le jus est envoyé successivement dans trois (3) réchauffeurs qui élèvent sa température à 105° maximum ; ce sont les réchauffeurs après chaulage. Ces réchauffeurs reçoivent respectivement comme vapeurs de chauffe : VP<sub>1</sub>, VP<sub>2</sub> et VE (vapeur d'échappement). Enfin, le jus est envoyé dans un vase de détente qui stabilise son mouvement et élimine les bulles d'air qui nagent à cause de l'ébullition du jus dans les réchauffeurs avant d'être envoyé à la décantation.

2 - Décantation

La décantation des sels de chaux insolubles est réalisée dans des appareils de grandes dimensions appelés clarificateurs ou décanteurs, au nombre de deux (Five Lille Cail type Tikener de diamètre 22 m). Il s'y produit la séparation de la boue et du jus clair qui sort du décanteur par débordement tandis que les boues sont aspirées par une pompe qui les envoient à la filtration. Pour améliorer la décantation et la filtration de la boue, on injecte du séparan dans le jus à l'entrée du décanteur dans le but d'obtenir un floculat plus épais. Le jus recueilli est clair, brillant. On effectue au niveau des clarificateurs un contrôle du pH avec un appareil

...

indicateur automatique sur place et au laboratoire. Si la chaux est dosée avec excès, il peut se former des déchets considérables sur les tubes des corps d'évaporation. De plus, la cristallisation est lente et le sucre est coloré. Si la teneur en phosphates ( $P_2O_5$ ) des jus est faible (inférieure à 250 mg/l), on ajoute soit de l'acide phosphorique, soit du super-phosphate (30 à 60 % de  $P_2O_5$ ) tout juste avant préchauffage pour favoriser la floculation. Le jus clair à la sortie des décanteurs passe par un filtre parabolique avant d'être recueilli dans le bac à jus clair de capacité 30 m<sup>3</sup>. Les caractéristiques du jus clair sont alors les suivantes :

- température : environ 98° C (à la sortie)
- pH = 6,5 à 7,0
- Brix = 13,82
- Pureté = 82,90

### 3 - Filtration

La boue obtenue descend dans la cuvette d'un filtre dit rotatif-continu-à vide. Lors de son passage, on y ajoute de la folle-bagasse qui va servir d'adjuvant de filtration et un peu de lait de chaux pour remonter le pH des boues vers 7. Après filtration de la boue, le jus recueilli appelé filtrat louche est envoyé au préchauffage et le cycle de clarification recommence. Le filtre rotatif est muni de raclettes qui raclent le gâteau (résidu de la filtration des boues) après filtration. Celui-ci est ensuite récupéré et envoyé aux champs pour servir d'engrais.

Remarque : quantité de vapeur nécessaire pour le chauffage du jus afin de le faire passer d'une température à une autre au niveau des réchauffeurs :

1° Chaleur spécifique du jus (C)

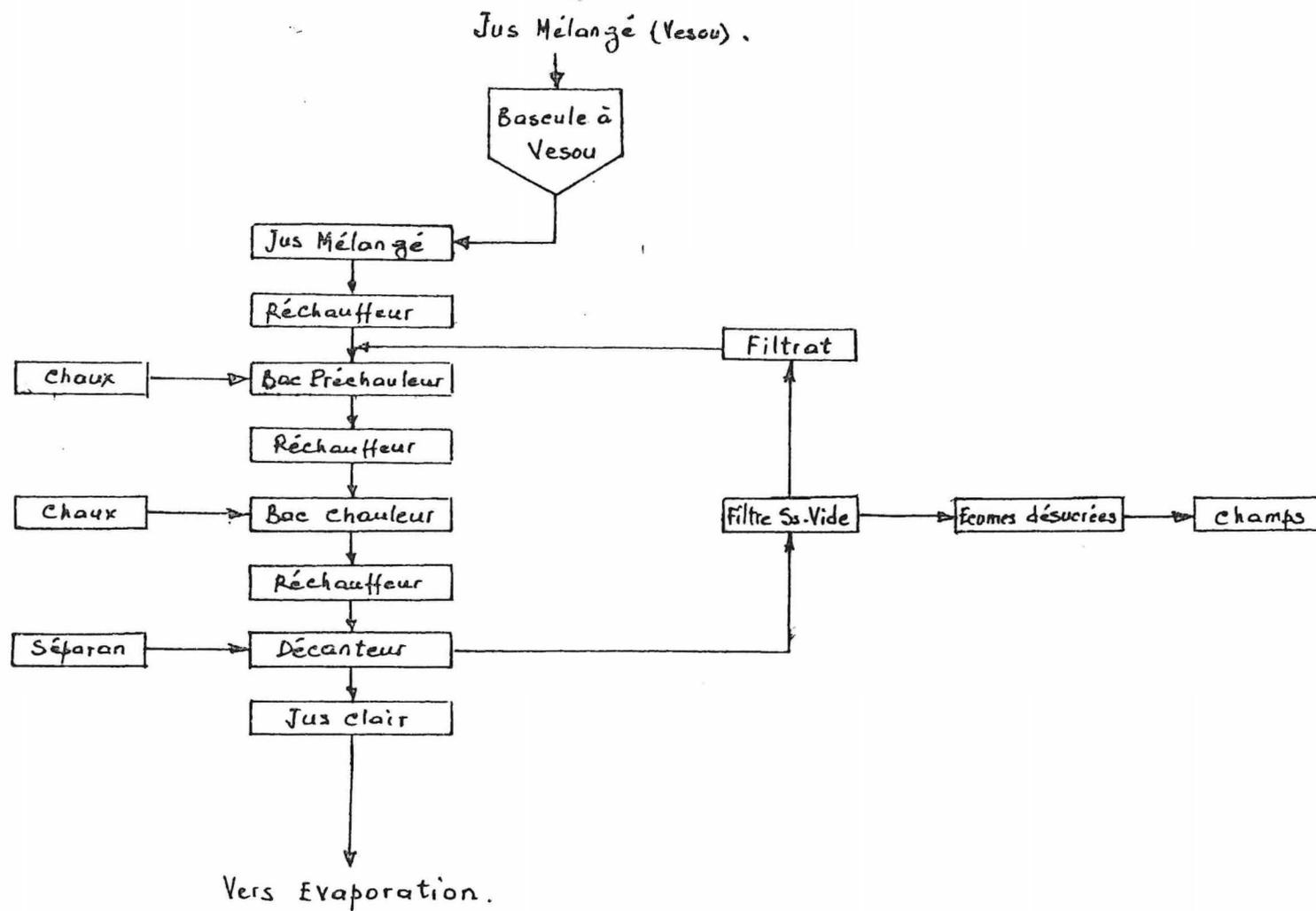
$$C = 1 - 0,006 B$$

B = Brix du jus

2° Quantité de chaleur nécessaire (Q)

$$Q = G \cdot C (Ts - Te)$$

G = quantité de jus  
 Ts = température de sortie  
 Te = température d'entrée  
 $\alpha$  = coefficient de perte de chaleur ( $1,02 \leq \alpha \leq 1,05$ )



sch.3. Circuit des jus à la SO.SU.H.V.

3° Quantité de vapeur nécessaire (D)

$$D = \frac{Q}{540}$$

B - ANALYSES AU NIVEAU DE L'EPURATION (Cf. tableau I ; p. 39')

Après l'épuration on obtient :

- le jus clair,
- les boues ou écumes.

C'est sur ces deux produits que vont donc porter les analyses :

1 - Analyse du jus clair

- a) Brix - Polarisation - Pureté : même mode opératoire que pour les jus 1er et 6e moulin et le jus mélangé ;
- b) Glucose : même mode opératoire que pour les jus précédents ;
- c) pH : réalisé au laboratoire avec un pH-mètre ;
- d) Température.

2 - Analyse des écumes

Les écumes sont susceptibles de contenir les mêmes éléments que le jus clair notamment le sucre. La connaissance de la quantité de sucre qui va avec les écumes est importante pour le calcul du rendement. On détermine aussi l'humidité des écumes.

a) Détermination du sucre :

- homogénéiser l'échantillon par pétrissage à la main ;
- peser 52 g de boue dans un bécher et y verser 200 ml d'eau distillée ;
- déféquer avec de l'acétate de plomb, remuer avec un agitateur, filtrer sur papier-filtre ;
- polariser au tube de 200 mm : lire le Pol et multiplier par le facteur polarisation pour avoir le sucre.

b) Humidité : prélever un échantillon de poids connu ( $P_1$ ) ; mettre à l'étuve jusqu'à poids constant ( $P_2$ ).

$$\text{Humidité} = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \cdot 100$$

TABLEAU I - ANALYSES AU NIVEAU DE L'EXTRACTION ET DE L'EPURATION

(Emploi du temps)

PRODUITS	ANALYSES							HEURES DU QUART							
	Brix	Pol	Pureté	Humidité	Glucose	pH	Insolubles	1	2	3	4	5	6	7	8
Jus 1er moulin..	+	+	+		+			+	+	+	+	+	+	+	+
Jus 6e moulin...	+	+	+					+		+		+		+	
Jus mélangé.....	+	+	+		+		+	+		+		+		+	
Jus clair.....	+	+	+		+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
Bagasse.....		+		+					+		+		+		+
Ecumes.....		+		+								+			

N.B. : L'emploi du temps ne concerne pas le glucose, le pH et les insolubles dont les analyses ne sont faites que une seule fois.

## V - EVAPORATION

Le jus clair obtenu après épuration du jus mélangé, s'il ne contient plus beaucoup d'impuretés, il a cependant l'inconvénient de contenir beaucoup d'eau puisque son brix n'est que de 13,82, le reste étant constitué essentiellement d'eau. Etant donné que l'on se propose d'extraire du sucre sous forme cristallisée, il est indispensable de procéder à la concentration de jus clair de proche en proche jusqu'à la cristallisation complète. L'évaporation constitue la première étape de cette opération. Elle a lieu dans des chaudières encore appelées corps d'évaporation au nombre de quatre. Comme nous l'avons déjà souligné, la source d'énergie utilisée à cette fin est constituée par la vapeur d'échappement issue des turbo-alternateurs et turbo-moulins.

### A - ETUDE DE LA MARCHE DE L'EVAPORATION

#### 1 - Mode d'évaporation

Le jus clair est prélevé du bac à jus clair par une pompe qui l'envoie dans un réchauffeur (réchauffeur avant évaporation) qui reçoit de la vapeur d'échappement. Sa température s'élève alors jusqu'aux environs de 115 - 118° C puis il est envoyé à l'évaporation.

On a un système d'évaporation à quadruple effet : le jus clair est d'abord envoyé dans le 1er corps d'évaporation où il est chauffé par de la vapeur d'échappement jusqu'à la température de 115 - 118° C. Le jus chauffé libère de la vapeur d'eau formée qui est utilisée pour le chauffage du même jus entrant dans le corps suivant mais à une plus forte concentration, ainsi de suite jusqu'au 4e corps d'évaporation. Le jus final sortant du 4e corps est appelé sirop vierge. A partir de là (sirop inclus) tous les produits prennent l'appellation de produits lourds.

#### 2 - Description - Fonctionnement d'un corps d'évaporation

Les corps d'évaporation se présentent comme de grands cylindres creux dont la partie inférieure est occupée par des tubes par où passe le jus qui arrive par le bas. Ces tubes sont chauffés par de la vapeur qui circule dans les espaces (faisceaux) qui les séparent. Les vapeurs arrivent également par le bas. Un système de dégazeur est installé pour dégager les gaz incondensables nuisibles au chauffage du jus. On y trouve également un système de purgeur qui empêche l'entraînement de la vapeur avec l'eau condensée formée

à partir de la vapeur de chauffe. Pour éviter la caramellisation du sucre due aux hautes températures, l'évaporation marche avec un système de vide créé par deux pompes à vide.

3 - Circuit des vapeurs (Cf. sch. 4 ; p. 42')

a) Vapeurs de chauffe

La vapeur ayant servi à chauffer le jus contenu dans les tubes au niveau des corps d'évaporation et au niveau des corps à cuire (à la cristallisation), se condense par la suite du fait de son contact avec les tubes relativement plus "froids". L'eau condensée qui en résulte est ensuite recueillie dans un ballon. Le ballon est compartimenté en 2 :

- Le compartiment de gauche reçoit les eaux condensées des 1er et 2e corps d'évaporation ainsi que celles des cuites. Ces eaux rejoindront par la suite la bêche alimentaire et seront réutilisées pour la chaufferie. Elles constituent ce qu'on appelle les eaux de retour.

- Le compartiment de droite recueille quant à lui les eaux des 3e et 4e corps d'évaporation et parfois du 2e corps ou des cuites A, B, C. Ces eaux condensées seront utilisées pour la fabrication à savoir :

- . Eau des cuites,
- . Filtre EIMCO,
- . Eau raffinerie (clarificateurs, bac à phosphatation,...),
- . Désucreur.-sècherie,
- . Centrifugeuses, clairçage,
- . Refonte A,
- . Précouche des filtres Hercules,
- . Etc.

b) Vapeurs de prélèvement

+ VP<sub>1</sub> : une partie d'elles va aux réchauffeurs (réchauffeur avant décantation et réchauffeur avant chaulage), l'autre partie va servir aux cuites,

+ VP<sub>2</sub> : servent au réchauffage des jus (réchauffeur avant décantation) et aux cuites C,

+ VP<sub>3</sub> : elles vont au réchauffeur du jus avant préchaulage,

- + VP<sub>4</sub> : vont au condensateur barométrique,
- + Vapeurs de prélèvement des cuites : vont au condensateur barométrique.

#### 4 - Condensateur barométrique : fonctionnement et rôle.

##### a) Fonctionnement

Condense VP<sub>4</sub> et les vapeurs de prélèvement des cuites. L'eau froide servant à la condensation y entre par le haut envoyée par une pompe à partir d'une fosse (à eau froide). L'eau condensée (chaude) va dans un bac et est ensuite envoyée à un réfrigérant où elle est refroidie pour de nouveau être envoyée dans le condensateur barométrique.

##### b) Rôle du condensateur barométrique

Son rôle est de créer le vide dans les appareils d'évaporation et les appareils à cuire.

##### \* Comment le vide est-il créé ?

Le condensateur barométrique est relié à deux pompes à vide qui aspirent les gaz incondensables qui s'y trouvent. Cette aspiration provoque donc l'afflux des vapeurs de prélèvement des appareils d'évaporation et des appareils à cuire dans le condensateur d'où la création de vide dans les appareils.

##### \* Nécessité du vide

La nécessité du vide se situe à deux niveaux :

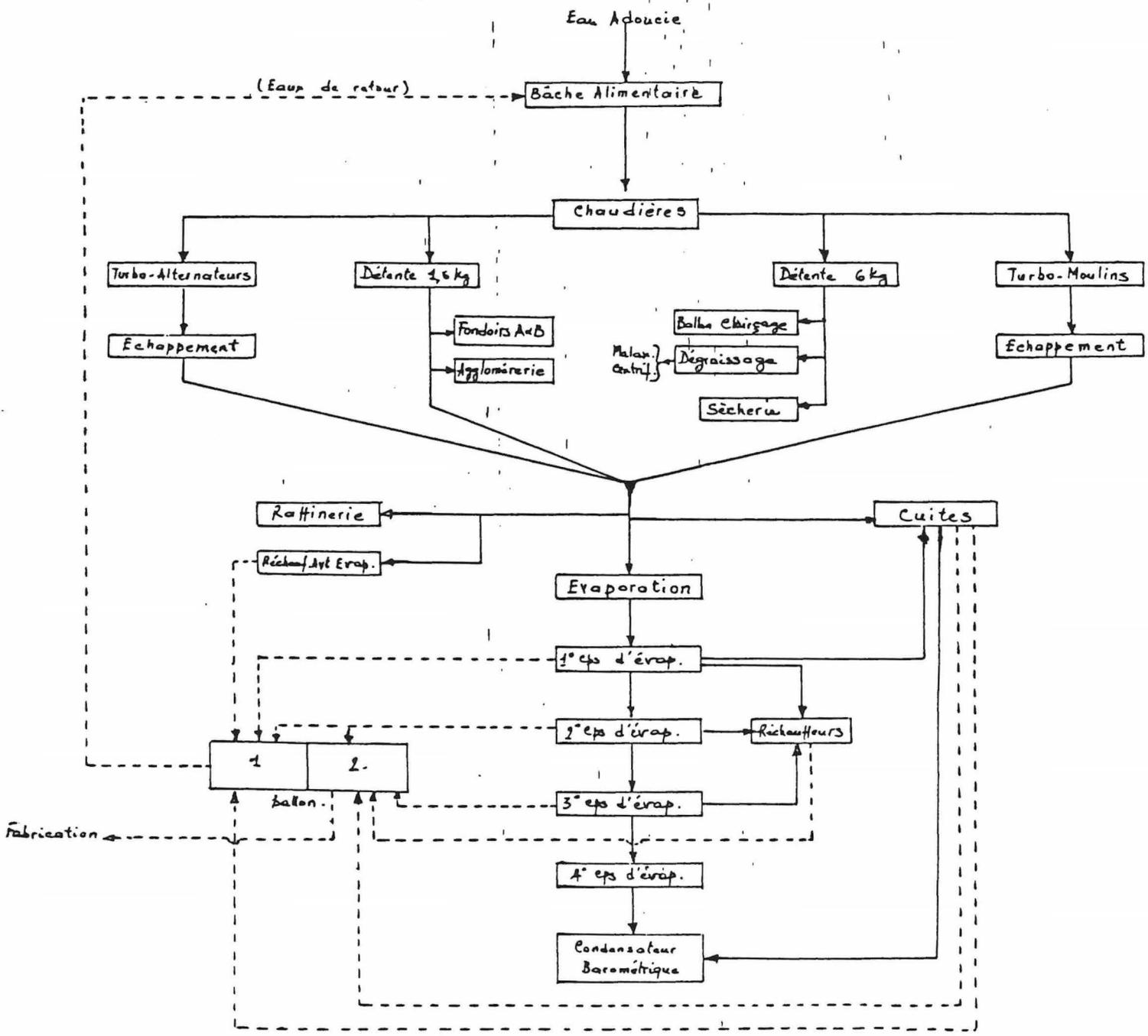
- Le vide permet d'une part de mener l'évaporation et la cristallisation sans trop élever la température dans les appareils, ce qui provoquerait la caramellisation du sucre.

Rappel :  $PV = RT \rightarrow T = \frac{PV}{R}$

Quand P diminue, T diminue aussi.

- Il permet d'autre part du fait de l'aspiration, le transfert des produits lourds d'un appareil à cuire à l'appareil suivant.

Le vide est maintenu au 4<sup>e</sup> corps d'évaporation à la pression de 60 à 65 mm de mercure ce qui permet une sortie du sirop vierge à la température de 70° maximum. Les risques de caramellisation sont plus importants au 4<sup>e</sup> corps d'évaporation où le sirop est beaucoup plus concentré que dans les cuiseurs d'où la nécessité d'y maintenir le vide et par conséquent des températures basses.



Sch. 4. Circuit des vapeurs et des eaux condensées (SO.SU.H.V.)

Ligende.

- Vapeur.
- - - - Eau condensée.

Remarques :

1°) Détermination de la quantité de chaleur transmise à un jus dans les corps d'évaporation :

$$Q = K \cdot S (T' - T)$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{a} + \frac{e}{b} + \frac{1}{c}}$$

Q = quantité de chaleur transmise au jus dans le corps d'évaporation,

K = coefficient de transmission de la chaleur,

T' = température de la vapeur,

T = température du jus,

a = coefficient de transmission de la chaleur de la vapeur à la paroi,

b = coefficient de transmission de la chaleur à travers la paroi,

c = coefficient de transmission de la chaleur de la paroi au jus,

e = épaisseur de la paroi,

S = surface de chauffe.

2°) Quantité d'eau évaporée au niveau des corps d'évaporation

$$A = D \left(1 - \frac{C_1}{C_2}\right)$$

A = quantité d'eau évaporée,

D = quantité de jus entrant au 1er corps d'évaporation,

C<sub>1</sub> = brix du jus à l'entrée,

C<sub>2</sub> = brix du jus à la sortie.

B - ANALYSE AU NIVEAU DE L'EVAPORATION (Cf. tabl. II ; p. 57')

Les paramètres qui vont nous intéresser sont :

- le brix,
- la pureté,

- le glucose,
- les cendres.

La connaissance de ces paramètres va nous permettre d'évaluer la proportion de sucre présente dans le sirop avant la prochaine étape (cristallisation). L'analyse du glucose est un critère d'appréciation de la bonne ou de la mauvaise marche de l'évaporation par rapport à l'inversion du saccharose.

## 1 - Détermination du brix et de la pureté

### a) Le brix

Il se détermine à l'aide d'un densimètre-brix. Etant donné la forte concentration du sirop en sucre, il est nécessaire de le diluer au préalable. On procède comme suit :

- Peser 200 g de sirop (échantillon),
- Dissoudre l'échantillon dans de l'eau distillée et chauffée,
- Introduire dans un ballon de 1 000 ml ; compléter avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge et laisser refroidir (environ 27°5),
- Remplir une éprouvette de 500 ml avec la solution de sirop,
- Plonger le densimètre et lire le brix-poids ; noter la température,
- Procéder à la correction du brix compte-tenu de la température,
- Déterminer le grand-brix correspondant en tenant compte de la dilution ; se référer pour cela aux tables déjà établies.

### b) Polarisation - Pureté

- Prendre 100 ml de la dernière solution,
- Déféquer avec de l'acétate de plomb,
- Polariser au tube de 200 mm,
- Lire le Pol et le multiplier par le facteur Pol pour avoir la polarisation,
- Calculer la pureté à partir de la polarisation et du brix

$$P = \frac{S}{B}$$

## 2 - Analyse du glucose

Le principe de cette analyse a déjà été précisé à propos des jus. Le mode opératoire est le suivant :

- Prendre 200 g de sirop dans un ballon de 1 000 ml,
- Déféquer avec de l'acétate de plomb,

- Prélever 50 ml dans un ballon de 200 ml. Le remplir jusqu'au trait de jauge,
- Poursuivre le mode opératoire comme pour les jus...

Soit n le volume de solution titrante versée :

Glucose pour 100 g de sirop =  $33,125/n$  (grammes)

$$\text{Glucose \% Matières sèches} = \frac{33,125}{n \cdot \text{Brix}} : 100$$

### 3 - Analyse des cendres

#### a) Principe

Les cendres sont constituées par la fraction minérale de la solution (sirop). Cette fraction est composée de sels ionisables qui modifient la conductivité électrique de la solution. La mesure de la conductivité permet donc de remonter à la teneur en matières minérales, donc à la teneur en cendres.

#### b) Mode opératoire

- Prélever 5 g de sirop dans un ballon de 100 ml. Jauger,
- Refroidir jusqu'à la température de 20° C environ,
- Plonger la cellule conductrimétrique dans la solution et lire la conductivité,
- Se référer aux tables déjà établies pour déterminer la teneur en cendres.

## VI - CRISTALLISATION

La cristallisation constitue l'étape décisive de l'extraction du sucre à l'état brut (sucre blond) puisqu'il s'agit de faire passer le saccharose de la forme dissoute à l'état solide (cristalline). Cette opération exige un certain nombre de précautions ainsi qu'un ensemble de conditions essentiellement physiques où la pression et la température tiennent une place importante.

La qualité du sucre obtenu dépend essentiellement de cette phase. Les rendements de l'Usine en sucre fini sont également en étroite dépendance avec la bonne conduite de la cristallisation.

### A - ETUDE DU PROCESSUS DE CRISTALLISATION

A la sortie du 4<sup>e</sup> corps d'évaporation, le sirop vierge est envoyé dans des bacs d'attente à l'aide d'une pompe. De ces bacs, il va gagner les appareils à cuire ou cuiseurs dans lesquels

a lieu la cristallisation. Rappelons que c'est la vapeur d'échappement et une partie de la vapeur de prélèvement du 1er corps d'évaporation qui sont utilisées pour chauffer le sirop vierge. Sous l'action de ces vapeurs, le sirop vierge de brix égal à 59,63 devient de plus en plus concentré et lorsque son brix atteint 70 à 75 selon la pureté, il commence à apparaître des cristaux de sucre. Le caractère de la masse du sirop se transforme à l'état mi-solide, mi-liquide ; elle perd un peu de sa fluidité et prend le nom de masse-cuite.

#### 1 - Conditions de conduite d'une masse-cuite

La température d'ébullition du sirop est élevée : 120° C sous pression atmosphérique. Cette température est incompatible avec la formation de cristaux car le sucre se caramellise. Aussi a-t-on recours au vide qui permet de conduire la cristallisation à des températures basses de l'ordre de 75 à 80° C.

#### 2 - Conduite d'une cuite

On concentre le sirop jusqu'à obtention d'une solution saturée c'est-à-dire une solution qui contient la quantité totale de sucre qu'elle est susceptible de dissoudre. Dans le sirop, la solubilité baisse car il existe des non sucres (réducteurs). On détermine alors le coefficient de solubilité (s) :

$$s = \frac{\text{Poids de sucre soluble \% eau de la solution impure}}{\text{Poids de sucre soluble \% d'eau}}$$

Si on poursuit la cristallisation, on aboutit à la sursaturation ; on définit alors le coefficient de sursaturation (S).

$$S = \frac{\text{Poids de sucre \% d'eau dissout dans une solution de saccharose}}{\text{Poids de sucre \% d'eau dissout dans une solution saturée}}$$

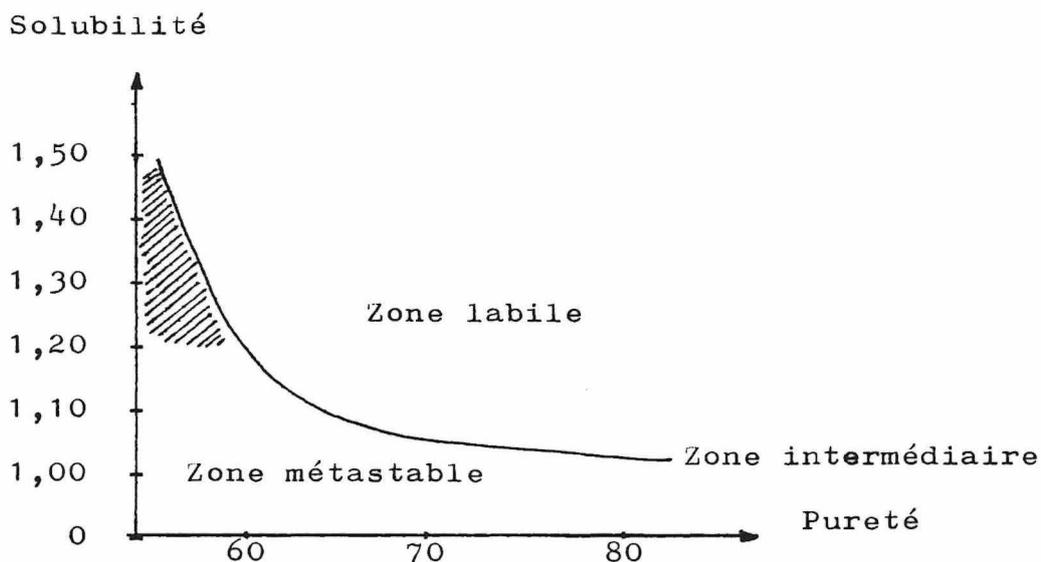
La cristallisation se poursuit en milieu saturé. Une fois les cristaux apparus, la pureté de l'eau-mère diminue, donc la sursaturation aussi. Pour y remédier, il est nécessaire d'y apporter du sirop et de poursuivre la concentration pour obtenir de nouveau la zone de sursaturation.

On distingue trois zones (cf. diagramme) :

- une zone métastable,
- une zone intermédiaire,
- une zone labile.

DIAGRAMME SOLUBILITE

---



Zone où a lieu la cristallisation

La conduite de la cristallisation se fait dans la zone supérieure métastable. Cela favorise la cristallisation qui a lieu quand  $S = 1,10$  à  $1,50$ . La vitesse de cristallisation dépend de :

- la viscosité du produit,
- la température,
- la sursaturation,
- la pureté de la liqueur-mère.

La circulation de la masse cuite est provoquée par les bulles de vapeur au chauffage des tubes. Ces bulles grossissent et tendent à remonter en surface entraînant avec elles la masse-cuite.

### 3 - Mode opératoire de la conduite d'une masse-cuite (m. c.)

La conduite d'une cristallisation s'effectue comme suit :

- concentration du sirop jusqu'à obtention d'un volume dit de grainage,
- concentration de nouveau jusqu'à sursaturation. A ce moment la masse-cuite fait un filet entre le pouce et l'index quand on la touche (test du filet),
- grainage par ensemencement : consiste à injecter de la

poudre très fine de sucre mélangée au préalable dans un mixer avec de l'alcool. Aussitôt après injection, commencent à apparaître des grains de cristaux visibles à l'oeil nu au fur et à mesure qu'on monte la concentration. Une fois qu'on estime suffisante la quantité de cristaux dans l'appareil, on arrête la formation de nouveaux grains en injectant une bonne dose de sirop dans le but de "casser la concentration". Pendant la montée de la cuite, il faut tout faire pour éviter la formation de "faux-grains" qui auraient un rôle néfaste au moment du turbinage des masses cuites. Une fois atteint le niveau, le cuiseur arrête l'alimentation et procède au serrage de la masse-cuite jusqu'à un brix susceptible de favoriser la coulée de la masse-cuite. Aussitôt il ferme l'alimentation de la vapeur, la vanne du vide puis il ouvre une vanne favorisant l'entrée de l'air dans l'appareil ainsi que la vanne automatique de vidange. La température est alors de 75 à 80° C.

4 - Epuisement des masses-cuites

Afin de pousser la cristallisation à l'extrême, on a un système de cristallisation à trois jets :

- m.c.A → sucre A + Egout A ; l'égout A est de nouveau conduit à faire une masse-cuite B ;
- m.c.B → sucre B + Egout B ; l'égout B est refondu pour donner une 3e masse-cuite (m.c.C) ;
- m.c.C → sucre C + Egout C ; l'égout C ou mélasse n'est pas exploité. Il contient beaucoup de non sucre et sa viscosité est élevée. Ces deux facteurs freinent énormément la cristallisation d'où l'impossibilité d'extraire du sucre cristallisé sans avoir provoqué au préalable un traitement permettant d'éliminer le non sucre. Le rendement des masses-cuites ou épuisement ou épuisabilité s'exprime comme suit :

$$R = \frac{100 (J-m)}{J (100-m)}$$

J = pureté de la masse-cuite  
m = pureté de la mélasse

B - ANALYSES AU NIVEAU DE LA CRISTALLISATION (Cf. tabl. II ; p. 57')

Le sucre étant l'élément fondamental en sucrerie, il importe de suivre l'évolution de sa teneur dans les produits lourds. A côté de cet élément qui nous intéresse il y a ceux qu'on cherche à éliminer ou à en réduire la teneur (glucose, cendres, eau...). La connaissance de tous ces éléments permet d'évaluer les rendements en sucre, facteur dynamique de la productivité. Les analyses au niveau de la cristallisation vont porter sur les masses-cuites (m.c. A, B, C et m.c. raffinées). Les paramètres qui vont nous intéresser sont le brix et la pureté.

1 - Brix

Il se détermine au densimètre-brix comme pour le sirop suivant le même mode opératoire.

2 - Pureté

Même mode opératoire que pour le sirop.

## VI - MALAXAGE - TURBINAGE ET TRANSPORT DU SUCRE

### A - DEROULEMENT DES OPERATIONS

#### 1 - Malaxage

La masse-cuite sortant des appareils à cuire possède des possibilités de cristallisation importantes car elle se trouve toujours dans une très forte sursaturation. Si on la laisse reposer, le sucre encore contenu dans la liqueur-mère continuera à se déposer sur les cristaux, mais au bout de très peu de temps, la cristallisation s'arrêtera à cause de la viscosité de la liqueur-mère (impossibilité de mouvement des molécules de sucre). Il faut donc agiter cette masse afin de modifier constamment la position des particules de la liqueur-mère et des cristaux : c'est le malaxage. Son avantage c'est de continuer la cristallisation jusqu'à épuisement de la liqueur-mère.

Le malaxage a lieu dans des appareils munis d'ellipses permettant le brassage des masses-cuites (malaxeurs).

A la SO. SU. H. V. les masses-cuites A, B et raffinées ne séjournent pas longtemps dans les malaxeurs. Elles sont envoyées aux centrifugeuses pour la séparation des cristaux de sucre de la liqueur-mère, car on estime que compte-tenu des puretés élevées de ces produits, l'épuisement est normal. Quant aux masses-cuites C, elles sont refroidies (température = 40 à 45° C) et séjournent dans les malaxeurs pour une durée de 18 à 30 heures. Elles sont ensuite réchauffées jusqu'à 50° C avant d'être turbinées.

#### 2 - Turbinage

##### a) But

Le but du turbinage est de séparer les cristaux de sucre de la liqueur-mère afin d'avoir un sucre sous forme commercialisable.

Cette opération est réalisée dans des centrifugeuses ouessoreuses encore appelées turbines.

##### b) Description d'une turbine

A la SO. SU. H. V. il y a deux sortes de turbines :

- Turbine "Compact 221" : pour le turbinage des masses-cuites A et raffinées,
- Turbine "Continue" : pour les masses-cuites B et C et l'affinat C.

Ce sont des cylindres métalliques comprenant les éléments suivants :

- un panier ou toile de travail situé à l'intérieur des cylindres ; il constitue le tamis de séparation des cristaux de la liqueur-mère,
- un moteur permettant la rotation à toute vitesse du panier,
- un dispositif de récupération des égouts,
- une ouverture inférieure pour la récupération du sucre turbiné,
- un dispositif de clairçage.

Chez la turbine "continue", la récupération du sucre se fait sans interruption par l'ouverture inférieure tandis que pour la turbine "compact 221", il y a un cône qui ferme l'ouverture inférieure pendant le turbinage et que l'on peut mettre en position haute lors du déchargement du sucre turbiné. Elle (turbine compact 221) dispose en outre d'une charrue de déchargement, sorte de raclette qui peut être mise en contact du panier lors du déchargement afin de racler le sucre et qui occupe une position écartée de la toile pendant le turbinage.

c) Description d'un cycle de turbinage

\* Turbine "Compact 221"

La masse-cuite A ou raffinée est pompée à partir du malaxeur pour être renvoyée dans le distributeur (sorte de malaxeur réduit). Du transporteur, une vanne automatique laisse passer une portion de masse-cuite dans le panier qui tourne en ce moment à 40 tours/minute. Après, la centrifugeuse part à toute vitesse (1 200 à 1 300 tours/minute). Sous l'action de la force centrifuge, la liqueur-mère se sépare des cristaux et passe à travers la toile de travail ; on obtient ainsi un égout. A 900 tours/minute, une vanne automatique envoie de l'eau chaude (80 à 90° C) au pulvérisateur qui lave le film du sucre resté solidaire au panier. On obtient ainsi un 2e égout plus riche que le 1er. Le lavage est maintenu pendant une durée de six minutes maximum. Au bout de 1 200 tours/minute, la centrifugeuse décroît de vitesse jusqu'à ce qu'un mécanisme déclenche le déchargement du sucre au moyen d'une charrue. Une fois le déchargement fait, le cône redescend, la charrue reprend sa position initiale, les pulvérisateurs lavent le panier et la vanne automatique s'ouvre de nouveau pour laisser passer une 2e tranche de masse-cuite puis le cycle recommence. La durée du cycle est

d'environ 3 minutes.

\* Turbine "continue"

La masse-cuite venue du malaxeur-distributeur tombe dans un pot de répartition solidaire au panier conique entraîné par un moteur à une vitesse de 2 000 à 2 600 tours/minute. La masse-cuite est ainsi répartie dans la surface de la toile de travail. Sous l'action d'une des composantes de la force centrifuge, le sucre séparé de la mélasse ou de l'égout B ou de l'affinat C, remonte le long du panier jusqu'à la partie supérieure pour être projeté en force contre les parois de la turbine. L'égout passe à travers la toile et est récupéré dans un bac placé en-dessous des centrifuges.

Remarques :

- Seul le sucre turbiné dans les turbines "Compact 221" c'est-à-dire, le sucre A et le sucre raffiné sont commercialisés. Le sucre B est refondu et renvoyé dans la m. c. A. tandis que le sucre C (magma C<sub>2</sub>) va servir de pied de cuite pour la même masse-cuite A.

- le sucre A ou sucre roux ou encore sucre blond contient en plus du sucre quelques impuretés d'où la coloration de roux. Il se compose comme suit :

- . Saccharose = 98,90 - 99,70 % ;
- . Cendres ;
- . Glucose ;
- . Amidon ;
- . Cire ;
- . Gomme ;
- . Phosphates.

...

3 - Transport du sucre

- le sucre A est transporté à partir d'une vis sans fin à un transporteur à bande pour aller au séchage ;
- le sucre raffiné tombe sur un transporteur à secousses (Kreiss). Le transporteur est soumis à des secousses continues provoquées par un excentrique. Le mouvement de secousse est transmis au sucre qui fait un bon horizontal dans le couloir du transporteur.

B - ANALYSES A CETTE ETAPE

1 - Analyse des égouts A et B

- a) Brix (cf. analyse des masses cuites)
- b) Pureté (cf. analyse des masses cuites)

2 - Analyse de la mélasse

a) Brix - Pureté

Même mode opératoire au départ comme pour les masses-cuites. Pour la polarisation, prendre 50 ml de solution dans un ballon de 100 cc. Compléter avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge ; déféquer et polariser au tube de 100 mm ; multiplier par le facteur Pol ; faire le rapport avec le brix pour avoir la pureté. La pureté idéale est de 5 environ pour un brix idéal de 85.

b) Détermination du sucre Clerget

Peser 52 g de mélasse et diluer dans un ballon de 1 000 cc ; prélever 50 cc de cette solution dans un ballon de 100 cc après l'avoir déféquée avec de l'acétate de plomb ; rajouter 10 cc de NaCl 3,96 N ; passer dans un tube de 100 mm et polariser ; noter la température de la solution et lire ; multiplier le résultat par 2 : soit D ce résultat ; reprendre 50 cc de la solution déféquée et filtrée dans un ballon de 100 cc ; ajouter 20 cc d'eau et porter le bécher au bain-marie (70 à 75° C). Quand le thermometre indiquera 65° C, retirer la solution du bain et y ajouter 10 cc d'HCl concentré ; agiter pendant un certain temps pour homogénéiser ; laisser reposer pendant 30 mn ; refroidir aux environs de la température de la première polarisation ; enlever le thermometre en prenant soin de rincer et porter le volume à 100 cc. S'il se

...

forme un précipité, filtrer et polariser au tube de 200 mm ; multiplier le résultat par 2, soit I ce résultat.

On a 
$$\text{le sucre \%} = \frac{100 (D - I)}{143,23 - 0,53 t}$$
 t = température de polarisation

Chercher alors la pureté en faisant le rapport :

$$\frac{\text{Sucre Clerget}}{\text{Brix Mélasse}}$$

c) Détermination des cendres

- prendre 1 g de mélasse dans un ballon de 100 cc ; jauger ;
- procéder à la lecture au conductimètre ;
- se référer aux tables pour trouver les cendres % mélasse.

d) Détermination du pH

Avec un pH-mètre.

e) Détermination du glucose

- prendre 200 g de mélasse dans un ballon de 100 cc ; jauger ;
- prélever 50 cc de la solution dans un ballon de 100 cc ;
- déféquer, filtrer ; refiltrer après addition de bicarbonate de soude ;
- prendre 10 cc de ce filtrat dans un ballon de 100 cc ; ce sera la solution titrante ;
- préparer dans un bécher 2,5 cc de ferrocyanure de potassium avec 50 cc d'eau distillée ; ajouter de l'acide picrique (indicateur coloré) ;
- procéder au dosage.

Soit n le volume de solution titrante versée.

$$\text{Glucose pour 100 g de mélasse} = \frac{265}{n} \text{ g}$$

$$\text{Glucose \% matières seches} = \frac{265}{n \cdot \text{Brix}} \cdot 100$$

## VIII - RAFFINERIE

### A - ETUDE DU PROCEDE DE RAFFINAGE

#### 1 - But du raffinage

Le sucre A contient à côté du saccharose ce que l'on groupe sous l'appellation de non-sucre. Parmi ces non-sucres, il y a les matières colorantes qui confèrent au sucre brut sa coloration rousse.

L'objectif du raffinage est d'obtenir un sucre dont le pourcentage en saccharose est le plus élevé possible et qui se présente pour les besoins du consommateur sous la forme de sucre blanc.

#### 2 - Procédé de raffinage

Le sucre A obtenu est refondu dans un fondoir (fondeur A) : on obtient une solution dont le brix est de 55 à 65. Une pompe l'envoie dans un bac d'attente. De celui-ci, la refonte est prélevée pour être traitée dans des chaudières à phosphatation.

Dans les bacs à phosphatation, on injecte au préalable une dose d'acide phosphorique pour baisser le pH de la refonte de 6,6 à 4,5. Après deux (2) minutes de contact (si non risque d'inversion), le sirop acidifié est neutralisé par de la chaux et le pH remonte à 7,2 maximum. S'il passait beaucoup de chaux, on aurait un sirop très coloré, d'où la nécessité de maintenir le pH à 7. Les flocculats formés par l'action de l'acide et de la chaux sont maintenus en suspension au moyen d'une pompe alvéolaire qui provoque la formation de bulles d'air dans le sirop à l'entrée des clarificateurs. Dans cet appareil, les écumes (flocculat) sont raclées par des raclettes tandis que le sirop clarifié chauffé à 97-98° C est envoyé par débordement dans le bac de traitement. Dans celui-ci, on injecte une dose de noir végétal ou norit qui jouera le rôle d'absorbant des matières colorantes du sirop. Ce sirop traité, est filtré au bout de 20 mn par des filtres (filtres Hercules). Les filtres sont préparés au préalable à la filtration par une précouche qui recouvre la toile filtrante des rames, précouche composée de pâte de cellulose et de dicalite (adjuvant de filtration).

...

Le sirop filtré est recueilli dans deux (2) bacs avant d'être envoyé à la cristallisation. Le noir végétal est préparé dans un bac mélangeur avec de l'eau et du sirop filtré. Les doses de matières premières utilisées en raffinerie sont les suivantes :

- acide phosphorique .... 0,6 à 0,7 kg/tonne de cannes,
- cellulose ..... 0,4 à 0,5 kg/tonne de cannes,
- norit ..... 3,0 à 4,0 kg/tonne de cannes,
- dicalite ..... 4,0 à 5,0 kg/tonne de cannes,
- hydrosulfite ..... 0,02 kg/tonne.

**B - ANALYSES AU NIVEAU DE LA RAFFINERIE**

Le sucre raffiné, produit final du circuit de fabrication doit satisfaire à un certain nombre de caractéristiques qui déterminent sa qualité et sa présentation. Aussi, il est indispensable de procéder au contrôle des paramètres qui réalisent les normes exigées.

Le contrôle porte sur tous les produits de la raffinerie et les égoûts :

- refonte A ou refonte brute,
- refonte clarifiée,
- sirop filtré,
- égouts R<sub>I</sub>, R<sub>II</sub>, R<sub>III</sub>.

Ces analyses sont les suivantes :

- Brix et pureté,
- glucose,
- cendres,
- coloration.

Nous allons décrire, ci-dessous, les modes opératoires de ces analyses :

- 1 - Brix - Pureté (cf. sirop)
- 2 - Glucose

Peser 100 g de produit dans un ballon de 200 cc ; compléter à l'eau distillée jusqu'au trait de jauge ; verser la solution dans une burette ; prendre dans un bécher 2,5 ml de ferrocyanure de potassium et 50 ml d'eau distillée ; procéder au dosage.

Soit n la descente de burette.

$$\text{Glucose pour 100 g de produit} = \frac{2,65}{n} \text{ g}$$

$$\text{Glucose \% Matières Sèches} = \frac{2,65}{n \cdot \text{Brix}} \cdot 100$$

### 3 - Cendres

Prendre 10 cc de la solution préparée pour la détermination du glucose dans un ballon de 100 cc et compléter avec de l'eau distillée ; refroidir jusqu'à 20° C et procéder à la lecture au conductimètre ; se référer à la table pour évaluer les cendres.

### 4 - Coloration

La mesure de la coloration se fait avec un colorimètre qui nous donne la transmission. Faire les mesures pour une longueur d'onde = 650 mm. Le brix et la transmission permettent sur une table de déterminer la coloration du produit.

**TABLEAU II - ANALYSES AU NIVEAU DES PRODUITS LOURDS**  
(Emploi du temps)

PRODUITS	ANALYSES						HEURES DU QUART							
	Brix	Grand Brix	Pureté	Glucose	Cendres	pH	1	2	3	4	5	6	7	8
Sirop vierge...	+	+	+	+	+		+		+		+		+	
<u>Masse-cuite :</u>														
A.....	+	+	+											
B.....	+	+	+						Heure du cuiseur					
C.....	+	+	+											
Egouts A et B..	+	+	+				+	+	+	+	+	+	+	+
Mélasse.....	+	+	+	+	+	+								+
Egout Affinat C...	+	+	+				+				+			
Magma C <sub>2</sub> .....	+	+	+						+					
Masses Cuites Raffinées....	+	+	+						Heure du cuiseur					

N.B. : L'emploi du temps ne concerne que les brix (petits et grands) et la pureté.

IX - SECHAGE - ENSACHAGE

A - METHODOLOGIE

Le sucre sortant des centrifugeuses contient une humidité de 0,5 à 2 %. Cette humidité présente de gros inconvénients pour la conservation du sucre. Il est donc nécessaire de le sécher puis de l'emballer dans des sacs.

1 - Séchage

Le sucre brut ou le sucre raffiné, du transporteur à bande ou du transporteur à secousses est récupéré par un élévateur (élévateur de sucre humide) qui le conduit dans le séchoir à sucre. C'est un tambour qui tourne lentement et qui est muni à son intérieur de plateaux disposés en hélice. Le sucre, raclé par les plateaux suit le mouvement du tambour et est rejeté vers le bas. Au cours de sa chute, il rencontre un courant d'air chaud (80 - 85° C) envoyé par un ventilateur chauffé par de la vapeur d'eau. L'eau contenue dans le sucre s'évapore et se mélange à la masse de l'air, puis le tout est aspiré par un ventilateur qui l'envoie dans un désucreur. Un jet d'eau chaude libère l'air des poussières de sucre. La solution de sucre obtenue est envoyée dans un bac (bac à eau sucrée). Le ventilateur d'aspiration envoie en même temps de l'air frais pour refroidir le sucre à sa sortie du sécheur. Le sucre sorti du sécheur a une humidité de 0,1 à 0,2 % et une température de 45° C environ. Il est récupéré par un élévateur à sucre sec qui l'envoie au tamiseur à sucre. Les grugeons du tamiseur vont dans un fondoir et le sucre tamisé rentre dans une trémis et est véhiculé par un transporteur à bande d'acier.

2 - Ensachage

De la trémis à sucre, le sucre est pesé par une balance automatique en sacs de 50 kg. Les sacs sont ensuite stockés dans un magasin.

B - ANALYSE DES SUCRES CRISTALLISES SECHES (sucre A et sucre raffiné)

1 - Humidité du sucre après séchage

Elle se détermine à l'étuve.

Peser une capsule à dessiccation préalablement séchée pendant 30 mn à l'étuve et refroidie au dessiccateur. Soit  $P_1$  son poids ; mettre dans la capsule 25 g de sucre environ ; peser à nouveau ( $P_2$ ) ; porter à l'étuve à 105° C pendant 24 heures ; refroidir au dessiccateur et peser ( $P_3$ ).

$$\text{Humidité} = \frac{P_2 - P_3}{P_1 - P_2} \cdot 100$$

2 - Brix (cf. sirop)

3 - Glucose

Peser 26 g de sucre et les introduire dans un ballon de 100 cc ; jauger, mettre la solution dans une burette (solution titrante) ; préparer dans un bécher 2,5 ml de ferrocyanure de potassium et 50 ml d'eau distillée ; filtrer.

Soit n la descente de burette.

$$\text{Glucose pour 100 g de sucre} = \frac{2,65}{n}$$

$$\text{Glucose \% matières sèches} = \frac{2,65}{n \cdot \text{Brix}} \cdot 100$$

4 - Sucre

Prendre 26 g de sucre dans un ballon de 100 ml ; jauger ; ajouter 3 ml d'acétate de plomb, 2 ml d'hydroxyde d'alumine ; mélanger, filtrer, polariser au tube de 200 mm ; lire et évaluer le sucre.

5 - Cendres

Peser 5 g de sucre ; dissoudre dans un ballon de 100 ml ; jauger ; mettre la solution dans un bécher et plonger la cellule conductimétrique ; faire la lecture ; évaluer les cendres en tenant compte de la température (cf. tables).

6 - Colorimétrie (cf. raffinerie)

7 - Granulométrie

La granulométrie présente un intérêt pour la CHAMBON (machine qui agglomère le sucre granulé). En effet, avec des cristaux très fins ou très gros, le moulage présente des difficultés. C'est pourquoi, au laboratoire, on détermine le coefficient de variation qui doit être compris entre 0,40 et 0,70 pour un bon moulage.

Mode opératoire :

Peser 100 g de sucre raffiné dans une capsule bien sèche et verser sur le tamis supérieur (numéro 31). Il y a huit tamis au total, de maille de diamètre décroissant. Peser le contenu retenu par chaque tamis. Faire le graphique à l'aide des résultats.

$$C. V. = \frac{\text{Ouverture } 84 \% - \text{Ouverture } 16 \%}{2 \text{ M. A.}} \cdot 100$$

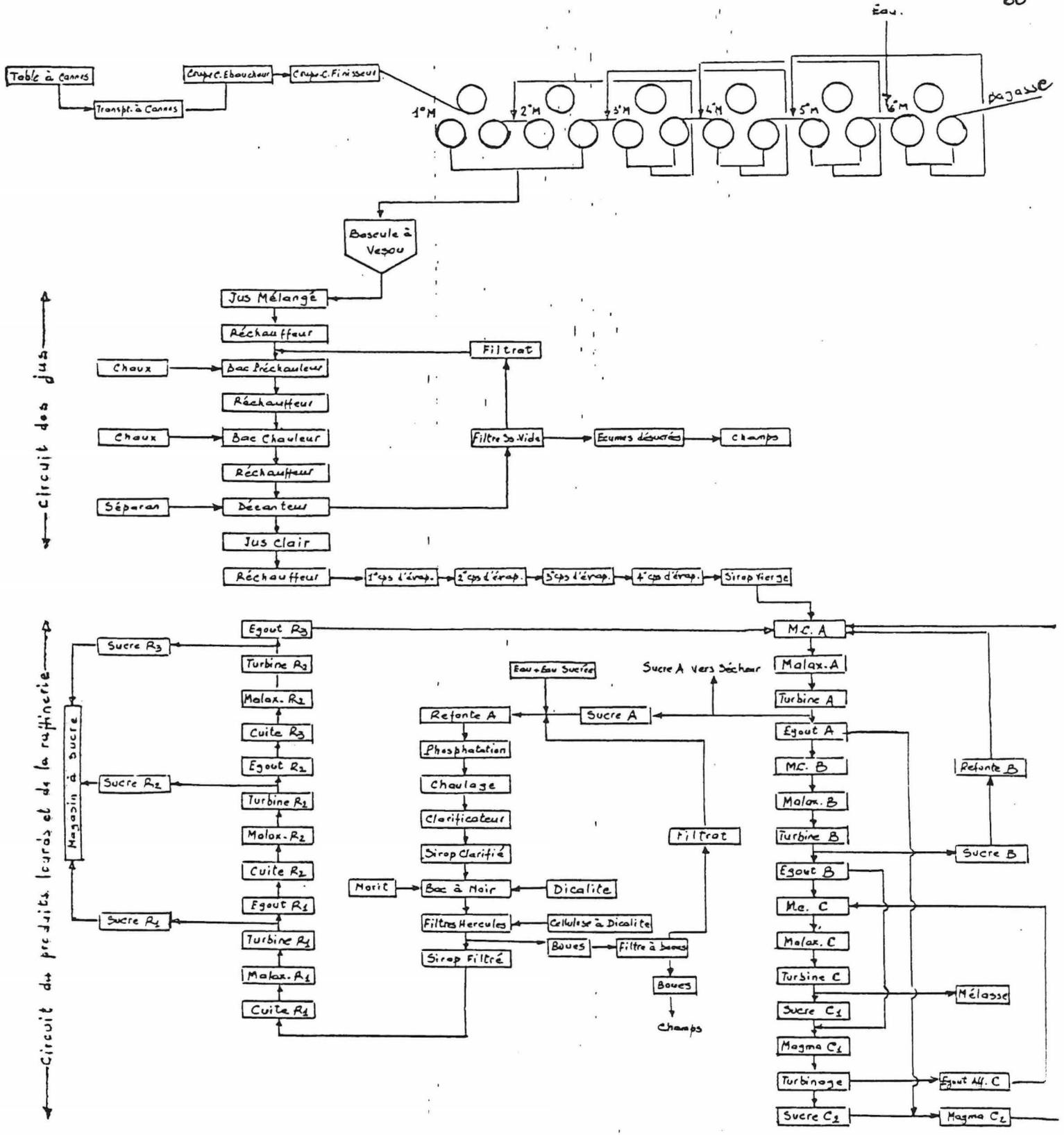
C. V. = coefficient de variation

M. A. = milieu d'abscisses

#### X - AGGLOMERERIE

Pour des raisons de commodité d'usage du sucre par le consommateur, le sucre granulé est souvent présenté sous forme de morceaux (cubes, parallépipèdes). Pour cela, il doit passer dans une machine (machine CHAMBON à la SO. SU. H. V.) qui possède des alvéoles, petits moules qui impriment leur forme au sucre granulé.

...



Sch. 5.: Circuit de fabrication du sucre à la SO.SU.H.V.

I - RESULTATS

Les caractéristiques de la canne qui rentre à l'usine (teneur en sucre, fibre, etc.) relèvent du service agronomique. Au niveau du service fabrication, c'est cette canne qui va constituer le potentiel de sucre extractible. Ce chapitre ne va concerner que les résultats réalisés au niveau du service fabrication et qui portent sur la canne et ses produits.

On peut distinguer deux types de résultats :

A - LES MESURES DIRECTES (sans analyse préalable).1 - Les tonnages

Ce sont les pesées effectuées sur la canne ou ses produits :

- . Cannes (brute, préparée, broyée) ;
- . Jus (1er moulin, dernier moulin, jus mélangé) ;
- . Mélasse.

2 - Mesures volumétriques

Ce sont les relevés des volumes des produits de la canne :

- . Jus (jus clair avant évaporation, jus des corps d'évaporation) ;
- . Produits lourds ;
- . Mélasse.

B - ANALYSES DE LABORATOIRE

La fabrication du sucre de canne obéit à un diagramme (Diagramme de fabrication). Ce diagramme a été élaboré en fonction du but à atteindre, c'est-à-dire obtenir en bout de chaîne un sucre cristallisé présentant toutes les caractéristiques qui font de lui un sucre de bonne qualité (granulométrie, pureté, humidité, etc.). Aussi, les analyses du laboratoire-usine sont-elles avant tout des contrôle-qualités pour vérifier la conformité des résultats avec les valeurs du diagramme qui représentent l'optimum à atteindre. Les résultats des mesures doivent par conséquent se situer dans un intervalle qui encadre les valeurs optimales. La reproduction pratique du diagramme de fabrication est donc la règle en sucrerie de canne.

Les mesures de contrôle-qualité des produits de la canne portent sur les paramètres suivants :

- Brix, pureté, polarisation : permettent d'évaluer le sucre ;
- Humidité (bagasse, écumes, sucre cristallisé) ;
- pH ;
- Glucose ;
- Cendres ;
- Insolubles.

C'est la connaissance de tous ces résultats qui va permettre d'effectuer le calcul de la sucrerie.

II - METHODE DE CALCUL DE LA SUCRERIE

Afin d'évaluer et de contrôler la production de sucre, on réalise au cours du temps des rapports de production. Il y a deux types de rapports : les rapports journaliers et les rapports périodiques.

A - RAPPORT JOURNALIER

Il rend compte journalièrement de toutes les informations du service-culture et du service fabrication concernant la production. Il permet ainsi de faire le bilan de sucre polarisable et, partant, de calculer le rendement de l'usine.

Il faut, au départ, établir le bilan d'extraction.

Rappel : Canne + Eau = Jus mélangé + Bagasse (cf. p.34 )

$$C + E = JM + Ba$$

Exemple de bilan d'extraction

Supposons que : Cannes broyées.....	1 605,25 t
Pureté du jus dernier moulin.....	70,51
Jus mélangé : . Poids.....	1 717,62 t
. Brix.....	14,13
. Pureté.....	80,81
Eau d'imbibition.....	647,00 t
Humidité bagasse.....	50,43
Sucre % bagasse (Sba).....	1,67

...

On a :

$$Ba = (C + E) - JM = (1\ 605,25 + 647) - 1\ 717,62 = 534,63\ t$$

$$\text{Sucre JM} = 0,1413 \times 0,8081 \times 1\ 717,62 = 196,125\ t$$

$$\text{Sucre Ba} = 534,63 \times 0,0167 = 8,928\ t$$

$$\begin{aligned} \text{Sucre Canne} &= \text{Sucre JM} + \text{Sucre Ba} \\ &= 196,125 + 8,928 = 205,05\ t \end{aligned}$$

$$F = Ba \left( 1 - H - \frac{S_{ba}}{P_{jdm}} \right) = 543,63 \left( 1 - 0,5083 - \frac{1,67}{70,51} \right) = 254,418\ t$$

$$F\%C = \frac{254,418}{1\ 605,25} \cdot 100 = 15,84$$

$$\text{Imbibition \% C} = \frac{647}{1\ 605,25} \cdot 100 = 40,30$$

$$\text{Imbibition \% Ligneux} = \frac{647}{254,418} \cdot 100 = 254,25$$

$$JM\ \% C = \frac{1\ 717,62}{1\ 605,25} \cdot 100 = 107,00$$

$$ER = \frac{\text{Sucre JM}}{\text{Sucre Canne}} \cdot 100 = \frac{196,125}{205,053} \cdot 100 = 95,64$$

$$Er = 100 - \frac{(100 - ER)(100 - F)}{7F} = 96,69$$

$$\text{Richesse} = \frac{\text{Sucre Canne}}{\text{Canne}} \cdot 100 = \frac{205,05}{1605,25} \cdot 100 = 12,77$$

## B - RAPPORT PERIODIQUE

Il est établi tous les 15 jours. Il consiste à donner toutes les propriétés des produits à analyser depuis la canne jusqu'au sucre au magasin, à donner la consommation des matières premières par rapport à la canne broyée et dans certains cas par rapport au sucre produit. Ce bilan donne la marche générale de l'usine du point de vue des arrêts et permettent de faire le rapport des heures de marche et des arrêts. Il comprend :

- Une partie générale,
- Une partie consacrée à la fabrication avec insistance

sur les points délicats de la fabrication (sucre polarisable, raffinerie, rendement en sucre, consommation de matières premières).

En quelque sorte c'est un résumé de la marche de la quinzaine.

Le rapport périodique est complété par le bilan non sucre qui comprend :

- Le bilan glucose,
- Le bilan cendres.

La canne à sucre demeure de nos jours la principale source d'extraction du sucre cristallisé. La plante n'étant limitée à proprement parler, que par le froid et l'altitude, les zones tropicales et de nombreuses régions subtropicales se prêtent à sa culture. La vulgarisation de la consommation alimentaire de sucre et la demande de plus en plus accrue de ce produit sur les marchés national et international qui s'en sont suivies, expliquent l'intérêt que portent les pays concernés pour l'exploitation industrielle de la canne à sucre.

La technique de l'extraction du sucre sous forme cristallisée à partir de la canne à sucre peut se résumer schématiquement comme suit :

- broyage des cannes et extraction du jus (jus mélangé) ;
- épuration du jus : on obtient du jus clair ;
- concentration du jus par évaporation jusqu'à obtention d'un sirop (sirop vierge) ;
- cristallisation du sucre contenu dans le sirop par évaporation et sursaturation ; on obtient une masse-cuite ;
- malaxage et turbinage de la masse-cuite : les cristaux de sucre se séparent de la partie liquide ; on a du sucre brut ;
- séchage du sucre.

Quant au sucre raffiné (sucre blanc), il est obtenu à partir du sucre refondu (refonte brute). Afin d'être débarrassée de ses matières colorantes, la refonte brute est clarifiée puis filtrée avant d'être cristallisée. On obtient du sucre blanc. Sucre brut et sucre raffiné sont mis en sacs et seront ensuite agglomérés selon les besoins.

Si le principe de l'extraction du sucre de canne paraît simple, elle exige cependant la maîtrise d'un grand nombre de connaissances théoriques et techniques du fait même du processus de fabrication et du nombre considérable de

matériel mis en oeuvre à cette fin. Le fonctionnement des machines et des appareils utilisés, les analyses de laboratoire, le contrôle de la production sucrière, etc., requièrent un personnel compétent.

L'originalité du circuit de fabrication quant à l'extraction jusqu'à épuisement du sucre contenu dans la canne (imbibition composée-multiple) ou dans les produits de la canne (jus, produits lourds) est remarquable.

La possibilité d'utilisation des sous-produits de la canne à sucre constitue un intérêt pour l'industrie sucrière :

- la bagasse (résidu de broyage de la canne) va servir de combustible dans les chaudières à vapeur (générateurs de vapeur). La vapeur qui en est issue (vapeur vive) va servir au fonctionnement des moteurs de l'Usine :

- . turbo-alternateurs : générateurs d'électricité alimentant l'Usine et les habitations ;
- . turbo-moulins : moteur d'entraînement des six batteries de moulins ;
- . autres moteurs : sécheur, désucreur, etc.

- les boues et les écumes de filtration sont utilisées comme engrais dans les parcelles de culture de la canne ;

- la mélasse peut être incorporée dans l'alimentation des animaux ou servir de substrat pour des fermentations alcooliques (distilleries, rhumeries, etc.).

Aujourd'hui, la Société Sucrière de Haute-Volta (SO. SU. H. V.) est en mesure de satisfaire à la demande nationale de sucre.

L'intérêt de ce stage suite à notre formation théorique, a été pour nous d'aborder sous ses aspects pratiques les problèmes posés par une industrie agro-alimentaire qu'est la sucrerie de cannes.



## BIBLIOGRAPHIE

Les ouvrages consultés sur place n'ayant pas été répertoriés, nous prions les lecteurs de bien vouloir nous excuser de ne pas pouvoir leur en donner les références.